

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

Návrh elektrických ochran  
v rozvodně R1 10/22 kV Valašské  
Meziříčí

Design of electrical protections for  
substation R1 10/22 kV Valašské  
Meziříčí

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Vach**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Návrh elektrických ochran v rozvodně R110/22 kV Valašské Meziříčí**  
**Design of electrical protections for substation R110/22 kV Valašské Meziříčí**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis rozvodny R110/22 kV Valašské Meziříčí
4. Popis ochrany navržených pro chránění
5. Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně R110/22 kV
6. Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny R110/22 kV Valašské Meziříčí


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

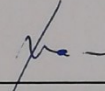
Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



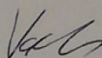
  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum: 17. 4. 2019

Podpis: 

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za vedení při vypracovávání mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Milanu Blokšovi za rady a odpovědi na mé dotazy při vypracovávání praktické části diplomové práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce pojednává o návrhu a nastavení elektrických ochran v rozvodně R110/22 kV Valašské Meziříčí. Práce je rozdělena na dvě části, a to část teoretickou a část praktickou. Teoretická část se zabývá teoretickým rozbořem ochran a jištění. Jsou v ní rozebrány základní požadavky, popsány základní členy ochran a je provedeno jejich rozdělení. Z hlediska použití v dané rozvodně je více pozornosti věnováno nadproudovým ochranám. Dále je v teoretické části popsán rozbor výpočtu zkratových proudů, kde je větší důraz kladen na výpočet pomocí fyzikálních hodnot. Tato metoda výpočtu byla použita i v praktické části. Teoretickou část uzavírá popis rozvodny R110/22 kV Valašské Meziříčí a popis ochrany Siemens SIPROTEC5 7SJ85, která v dané rozvodně nahrazuje dosluhující elektromechanické ochrany. Cílem práce je teoretické shrnutí problematiky ochran a výpočtu zkratových proudů. Dále určení zkratových poměrů a návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně, čímž se zabývá praktická část. Výsledkem práce je tedy výpočet zkratových poměrů na jednotlivých vedeních včetně odboček a návrh nastavení rozběhových proudů a časů pro nadproudový a zkratový článek ochran, nastavení zemních směrových ochran a nastavení OZ.

## **Klíčová slova**

Návrh, nastavení, ochrana, digitální ochrana, elektromechanická ochrana, rozvodna, nadproudová ochrana, zkrat, výpočet zkratových proudů

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the design and setting of electrical protections in the substation R110/22 kV Valašské Meziříčí. The thesis is divided into two parts, the theoretical part and the practical one. The theoretical part deals with theoretical analysis of protections. There are analyzed the basic requirements, described the basic parts of protections and made a division. More attention are given to overcurrent protections from the point of view of use in a given substation. Furthermore, the analysis of the calculation of short-circuit currents is describe, where a greater emphasis is placed on calculation using physical values. This method of calculation was also used in the practical part. The theoretical part concludes with a description of the substation R110/22 kV Valašské Meziříčí and a description of the Siemens SIPROTEC5 7SJ85 protection, which in the substation replaces the obsolete electromechanical protections. The aim of the thesis is, the theoretical summary of the issue of protection and calculation of short-circuit currents. The determination of short-circuit conditions and the design of electrical protections settings in the substation. This is the practical part. The result of the work is the calculation of short-circuit conditions on individual lines, including branches and the design of starting currents and times for overcurrent and short-circuit protections, setting of ground directional protections and setting of automatic reclosing.

## **Key words**

Design, setting, protection, digital protection, electromechanical protection, substation, overcurrent protection, short circuit, calculation of short circuit current

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	9
Seznam ilustrací a seznam tabulek .....	10
Úvod .....	13
1. Teoretický rozbor ochran a jištění .....	14
1.1. Úvod .....	14
1.2. Základní požadavky na elektrické ochrany .....	15
1.3. Dělení ochran .....	16
1.3.1. Podle chráněného objektu na ochrany .....	16
1.3.2. Podle druhu poruchy na ochrany .....	16
1.3.3. Podle funkčního principu na ochrany .....	16
1.3.4. Podle doby působení .....	16
1.3.5. Podle konstrukce .....	16
1.4. Základní členy ochran .....	17
1.4.1. Vstupní člen .....	17
1.4.2. Popudový člen .....	17
1.4.3. Logika .....	17
1.4.4. Měřicí člen .....	18
1.4.5. Časový člen .....	20
1.4.6. Koncový člen .....	20
1.4.7. Napájecí člen .....	20
1.4.8. Filtry souměrných složek .....	20
1.5. Nadproudové ochrany .....	21
1.5.1. Nezávislé nadproudové ochrany .....	22
1.5.2. Závislé nadproudové ochrany .....	25
1.5.3. Směrové nadproudové ochrany .....	26
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů .....	28
2.1. Úvod .....	28
2.2. Druhy zkratu .....	28
2.2.1. Trojfázový zkrat .....	28
2.2.2. Trojfázový zemní zkrat .....	29
2.2.3. Dvufázový zkrat .....	29
2.2.4. Dvufázový zemní zkrat .....	29

2.2.5.	Jednofázový zkrat.....	30
2.3.	Výpočet zkratových proudů .....	30
2.3.1.	Časový průběh zkratového proudu.....	30
2.3.2.	Charakteristické hodnoty průběhu zkratového proudu.....	31
2.3.3.	Metoda ekvivalentního napěťového zdroje .....	32
2.3.4.	Metoda souměrných složek .....	32
2.3.5.	Všeobecné zásady pro výpočet.....	34
2.3.6.	Stanovení maximálního zkratového proudu.....	35
2.3.7.	Stanovení minimálního zkratového proudu .....	35
2.3.8.	Postup výpočtu .....	35
2.4.	Výpočet zkratových proudů ve fyzikálních jednotkách .....	36
2.4.1.	Sousledné parametry prvků ve fyzikálních jednotkách.....	37
2.4.2.	Zpětné parametry prvků .....	38
2.4.3.	Nulové (netočivé) parametry prvků .....	39
3.	Popis rozvodny R110/22 kV Valašské Meziříčí .....	40
3.1.	Popis stávajícího stavu .....	40
3.2.	Popis a zdůvodnění stavby .....	40
3.3.	Popis nového stavu.....	40
4.	Popis ochran navržených pro chránění rozvodny R110/22kV .....	42
4.1.	Všeobecné vlastnosti ochrany Siemens SIPROTEC5 7SJ85 .....	42
4.1.1.	Složení přístroje SIPROTEC5 7SJ85 .....	42
4.2.	Ochranné a automatizační funkce .....	43
5.	Určení zkratových poměrů .....	47
5.1.	Výpočet reaktancí, zkratových proudů a výkonů pro rozvodu vn.....	47
5.1.1.	Výpočet ze strany transformátoru T101 .....	47
5.1.2.	Výpočet ze strany transformátoru T102.....	48
5.2.	Příklad výpočtu pro vedení VN25.....	49
5.2.1.	Výpočet zkratových poměrů pro první úsek vedení (US_VS_3124).....	51
5.2.2.	Výpočet zkratových poměrů pro konec vedení (US_VS_3131) .....	51
5.2.3.	Výpočet zkratových poměrů pro konec odbočky vedení (US_VS_3433) .....	52
5.3.	Zadané hodnoty pro výpočet.....	53
5.4.	Výsledné zkratové poměry .....	63
6.	Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně R110/22 kV .....	73

6.1.	Nastavení rozběhového proudu .....	73
6.1.1.	Nastavení pro SŽDC-P1, SŽDC-P2, SŽDC-PTNS .....	75
6.1.2.	Nastavení pro SP1, SP2, SPP, HDO a Rezervy .....	75
6.2.	Nastavení zemní směrové ochrany .....	76
6.3.	Nastavení OZ .....	77
7.	Závěr a zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran .....	78
	Literatura .....	79
	Seznam příloh .....	80
	Příloha I. ....	81



## Seznam použitých symbolů a zkratek

a		operátor
A/D		analogově digitální
$B_0$	[S]	netočivá složka susceptance
c		napěťový součinitel
f	[Hz]	frekvence
$G_0$	[S]	netočivá složka konduktance
HDO		hromadné dálkové ovládání
I	[A]	proud
$I_0$	[A]	netočivá složka proudu
$I_{DOV}$	[A]	dovolená hodnota proudu
$I_k''$	[A]	počáteční souměrný rázový zkratový proud
K	[-]	součinitel nárazového zkratového proudu
$k_e$	[-]	součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu
l	[m]	délka
OZ		opětné zapnutí
PTN		přístrojový transformátor napětí
PTP		přístrojový transformátor proudu
R	[ $\Omega$ ]	odpor
S	[mm <sup>2</sup> ]	průřez
SF6		fluorid sírový
$S_{k1}$	[MVA]	jednofázový souměrný rázový zkratový výkon
$S_{k3}$	[MVA]	trojfázový souměrný rázový zkratový výkon
$S_{kmax}''$	[MVA]	maximální počáteční souměrný rázový zkratový výkon
$S_{kmin}''$	[MVA]	minimální počáteční souměrný rázový zkratový výkon
$S_{nT}$	[MVA]	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
SP		spojka přípojníc
SŽDC		správa železniční dopravní cesty
t	[s]	čas
$t_k$	[ms]	doba trvání zkratu
TL		tlumivka
TR		transformátor
U	[V]	napětí
$U_0$	[V]	netočivá složka napětí
$u_k$	[V]	napětí nakrátko
vn		vysoké napětí
vvn		velmi vysoké napětí
X	[ $\Omega$ ]	reaktance
$Y_0$	[S]	netočivá složka admitance
Z	[ $\Omega$ ]	impedance
$Z_1, Z_2, Z_0$	[ $\Omega$ ]	sousledná, zpětná a netočivá složka impedance

Ostatní symboly a zkratky jsou vysvětleny přímo v textu.

## Seznam ilustrací a seznam tabulek

Obr. 1. Princip působení ochrany .....	14
Obr. 2. Charakteristiky rozběhového a popudového měřicího členu .....	17
Obr. 3. Charakteristika závislého měřicího členu .....	18
Obr. 4. Charakteristika rozdílového měřicího členu .....	19
Obr. 5. Charakteristika amplitudového komparátoru .....	19
Obr. 6. Charakteristika fázového komparátoru .....	20
Obr. 7. Charakteristiky nadproudových ochran .....	21
Obr. 8. Vypínací plán nadproudových nezávislých ochran v paprskové síti .....	22
Obr. 9. Vypínací plán nadproudových závislých ochran v paprskové síti .....	26
Obr. 10. Využití směrových nadproudových ochran .....	27
Obr. 11. Trojfázový zkrat .....	28
Obr. 12. Trojfázový zemní zkrat .....	29
Obr. 13. Dvoufázový zkrat .....	29
Obr. 14. Dvoufázový zemní zkrat .....	29
Obr. 15. Jednofázový zkrat .....	30
Obr. 16. Časový průběh zkratového proudu .....	30
Obr. 17. Náhrada nesymetrických fázorů symetrickými fázory .....	33
Obr. 18. Časový průběh dvojnásobného OZ .....	46
Obr. 19. Náhradní schéma pro výpočet vedení VN25 .....	49
Tab. 1. Hodnota napěťového součinitele .....	36
Tab. 2. Vybavení polí ochranami (stávající stav) .....	41
Tab. 3. Plán stupňů .....	45
Tab. 4. Zkratové poměry na straně napětí 110 kV .....	47
Tab. 5. Parametry transformátorů T101 a T102 .....	47
Tab. 6. Zadané hodnoty – Vedení VN25 .....	53
Tab. 7. Zadané hodnoty – Vedení VN25 – 1. odbočka .....	53
Tab. 8. Zadané hodnoty – Vedení VN104 .....	53
Tab. 9. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 1. odbočka .....	54
Tab. 10. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 2. odbočka .....	54
Tab. 11. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 3. odbočka .....	54
Tab. 12. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 4. odbočka .....	54
Tab. 13. Zadané hodnoty – Vedení VN213 .....	55
Tab. 14. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 1. odbočka .....	55
Tab. 15. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 2. odbočka .....	55
Tab. 16. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 3. odbočka .....	55
Tab. 17. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 4. odbočka .....	55
Tab. 18. Zadané hodnoty – Vedení VN221 .....	56
Tab. 19. Zadané hodnoty – Vedení VN221 – 1. odbočka .....	56
Tab. 20. Zadané hodnoty – Vedení VN228 .....	56
Tab. 21. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 1. odbočka .....	56
Tab. 22. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 1-1. odbočka .....	57

Tab. 23. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 2. odbočka .....	57
Tab. 24. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 3. odbočka .....	57
Tab. 25. Zadané hodnoty – Vedení VN229 .....	57
Tab. 26. Zadané hodnoty – Vedení VN234 .....	57
Tab. 27. Zadané hodnoty – Vedení VN240 .....	58
Tab. 28. Zadané hodnoty – Vedení VN240 – 1. odbočka .....	58
Tab. 29. Zadané hodnoty – Vedení VN1208.....	59
Tab. 30. Zadané hodnoty – Vedení VN1208 – 1. odbočka .....	59
Tab. 31. Zadané hodnoty – Vedení VN1208 – 2. odbočka .....	59
Tab. 32. Zadané hodnoty – Vedení VN1208 – 3. odbočka .....	60
Tab. 33. Zadané hodnoty – Vedení VN242 .....	60
Tab. 34. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 1. odbočka .....	60
Tab. 35. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 2. odbočka .....	60
Tab. 36. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 3. odbočka .....	61
Tab. 37. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 4. odbočka .....	61
Tab. 38. Zadané hodnoty – Vedení VN1915.....	61
Tab. 39. Zadané hodnoty – Vedení VN1915 – 1. odbočka .....	61
Tab. 40. Zadané hodnoty – Vedení VN1916.....	62
Tab. 41. Zadané hodnoty – Vedení AVA25.....	62
Tab. 42. Zadané hodnoty – Vedení AVA27.....	62
Tab. 43. Zadané hodnoty – Vedení AVA29.....	62
Tab. 44. Výsledné hodnoty – Vedení VN25 .....	63
Tab. 45. Výsledné hodnoty – Vedení VN25 – 1. odbočka.....	63
Tab. 46. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 .....	63
Tab. 47. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 1. odbočka.....	64
Tab. 48. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 2. odbočka.....	64
Tab. 49. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 3. odbočka.....	64
Tab. 50. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 4. odbočka.....	64
Tab. 51. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 .....	65
Tab. 52. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 1. odbočka.....	65
Tab. 53. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 2. odbočka.....	65
Tab. 54. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 3. odbočka.....	65
Tab. 55. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 4. odbočka.....	65
Tab. 56. Výsledné hodnoty – Vedení VN221 .....	66
Tab. 57. Výsledné hodnoty – Vedení VN221 – 1. odbočka.....	66
Tab. 58. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 .....	66
Tab. 59. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 1. odbočka.....	66
Tab. 60. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 1-1. odbočka .....	67
Tab. 61. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 2. odbočka.....	67
Tab. 62. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 3. odbočka.....	67
Tab. 63. Výsledné hodnoty – Vedení VN229 .....	67
Tab. 64. Výsledné hodnoty – Vedení VN234 .....	67
Tab. 65. Výsledné hodnoty – Vedení VN240 .....	68
Tab. 66. Výsledné hodnoty – Vedení VN240 – 1. odbočka.....	68

Tab. 67. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 .....	69
Tab. 68. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 – 1. odbočka.....	69
Tab. 69. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 – 2. odbočka.....	69
Tab. 70. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 – 3. odbočka.....	70
Tab. 71. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 .....	70
Tab. 72. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 1. odbočka.....	70
Tab. 73. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 2. odbočka.....	70
Tab. 74. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 3. odbočka.....	71
Tab. 75. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 4. odbočka.....	71
Tab. 76. Výsledné hodnoty – Vedení VN1915 .....	71
Tab. 77. Výsledné hodnoty – Vedení VN1915 – 1. odbočka.....	71
Tab. 78. Výsledné hodnoty – Vedení VN1916 .....	72
Tab. 79. Výsledné hodnoty – Vedení AVA25 .....	72
Tab. 80. Výsledné hodnoty – Vedení AVA27 .....	72
Tab. 81. Výsledné hodnoty – AVA29.....	72
Tab. 82. Hodnoty použité pro výpočet.....	74
Tab. 83. Nastavené hodnoty .....	75
Tab. 84. Nastavení zemní směrové ochrany.....	76
Tab. 85. Nastavení OZ .....	77

## Úvod

Elektrická energie je pro nás velmi důležitá a je nedílnou součástí našich životů. Její využití dnes nalezneme ve všech odvětvích průmyslu, v domácnostech, nemocnicích či ve vojenství. S takto velkým využitím přímo souvisí její velká a stále rostoucí spotřeba. Abychom mohli zajistit její dodávku do všech potřebných míst a zařízení, je potřeba samotná elektrická vedení a zařízení chránit před jejími možnými negativními vlivy vznikajícími při poruchových či nežádoucích stavech. Těmito stavy se rozumí například zkraty, přetížení, přepětí, podpětí a další.

K tomu nám slouží elektrické ochrany. Ty zajišťují bezpečný a spolehlivý chod dané části elektrizační soustavy tak, aby elektrická energie mohla být dodána do potřebných míst. S rostoucím odběrem elektrické energie souvisí i rostoucí nároky na celou elektrizační soustavu a tím i na spolehlivost chodu elektrických ochrany. Jejich nežádoucím působením může dojít k velkým ztrátám, naopak při správném působení mohou ochránit drahá zařízení či zajistit stabilitu elektrizační soustavy. Elektromechanické ochrany jsou dnes již považovány za zastaralé a málo spolehlivé, proto probíhá jejich nahrazení moderními digitálními ochranami vybavenými mikroprocesorem. Takováto zařízení v sobě sdružují velké množství funkcí, bývají modulární a je možné je obsluhovat dálkově. Kromě zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti dochází také k úspoře místa.

Elektrické ochrany mohou být, jako v případě této práce, umístěny v elektrických stanicích. Ty slouží k rozvodu elektrické energie, podle účelu je pak můžeme rozdělit například na transformovny, spínací stanice či měničky. Transformovny kromě rozvodné úlohy také provádějí změnu hladiny napětí, přičemž v distribuci dochází ke změně z vyšší napěťové hladiny na nižší. Elektrické stanice můžeme podle provedení rozdělit na venkovní a vnitřní.

Práce je rozčleněna do několika částí. První část obsahuje teoretický rozbor ochrany a jištění, jsou zde rozebrány základní požadavky na ochrany, dělení ochrany a jejich jednotlivé členy. Podrobněji jsou pak rozebrány ochrany nadproudové, a to jak závislé, tak nezávislé a směrové. Druhá kapitola se věnuje teoretickému rozboru výpočtu zkratových proudů. Jsou zde rozebrány druhy zkratu, jejich výpočet zahrnující metodu souměrných složek, zásady pro výpočet a samotný postup výpočtu včetně uvedení vzorců pro výpočet ve fyzikálních jednotkách. Třetí kapitola obsahuje popis rozvodny, jejího stávajícího a budoucího stavu či zdůvodnění prováděných změn. Čtvrtá kapitola se zabývá popisem ochrany Siemens SIPROTEC5, což je ochrana, která bude nahrazovat dosluhující elektromechanické ochrany v rozvodně ve Valašském Meziříčí. V kapitole jsou popsány základní vlastnosti a ochranné a automatizační funkce využití při chránění v dané rozvodně. Druhá část je praktická. V páté kapitole je proveden výpočet zkratových poměrů pro jednotlivá vedení a příslušné odbočky. Šestá kapitola se zabývá návrhem nastavení elektrických ochrany pro jednotlivá vedení, a to včetně návrhu nastavení zemní směrové ochrany a nastavení OZ.

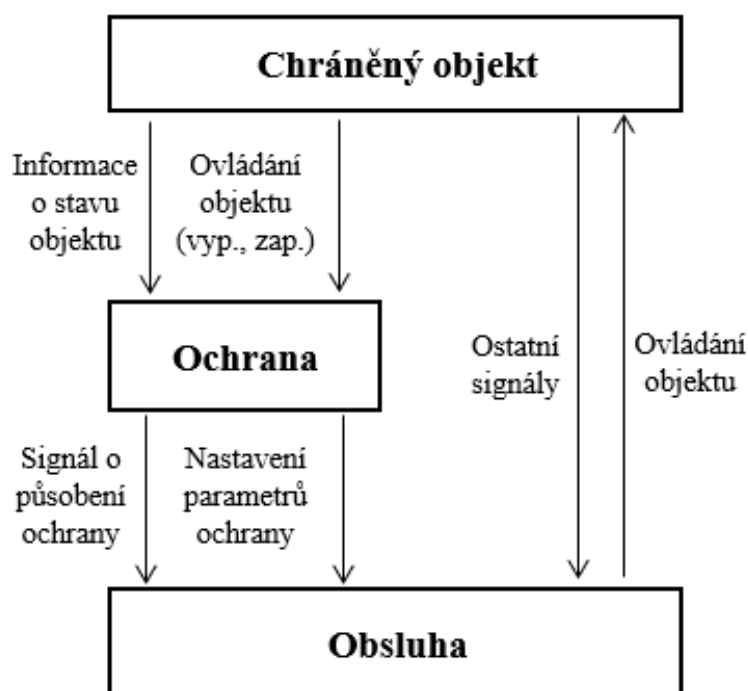
# 1. Teoretický rozbor ochran a jištění

## 1.1. Úvod

Ochrana je zařízení, které slouží k zajištění bezpečného a spolehlivého chodu určité části elektrizační soustavy. Můžeme říci, že kontroluje chod určité části elektrizační soustavy tím, že porovnává skutečnou hodnotu s nastavenou. Aby toto porovnání mohla provádět, je nutné jí dodat informace o stavu jednotlivých veličin chráněného objektu. Tyto informace ochrana získává pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, čidel a elektronických převodníků. Získané informace ochrana zpracovává, vyhodnocuje a musí správně rozlišit, v jakém provozním stavu se chráněný objekt nachází. Tedy jestli je tento stav přípustný, či se jedná o poruchu. O svém působení ochrana informuje obsluhu, která může nastavovat její parametry (změna citlivosti, časové zpoždění a podobně). [1], [2], [3]

Ochrana rozlišuje:

- Normální provozní stav: Ochrana provádí měření, nereaguje na změny stavových veličin.
- Mimořádný provozní stav: Ochrana provádí měření a signalizuje překročení stavových veličin.
- Poruchový stav: Ochrana měří a provádí opatření pro zamezení havárie chráněného zařízení.



Obr. 1. Princip působení ochrany [4]

Na obrázku můžeme vidět schematicky znázorněn vztah mezi ochranou, chráněným objektem a obsluhou.

## 1.2. Základní požadavky na elektrické ochrany

Mezi základní požadavky na elektrické ochrany patří:

- Spolehlivost

Spolehlivost znamená, že ochrana je schopna při poruše správně reagovat a situaci vyhodnotit v nastaveném čase. Zjednodušeně můžeme říct, že ochrana nesmí selhat. V případě bezporuchového chodu soustavy pak ochrana nesmí samovolně působit. Se spolehlivostí souvisí i odolnost vůči změnám teplot, agresivnímu prostředí či otřesům. Vyšší spolehlivosti můžeme docílit například vysokou technickou kvalitou použitých součástí. [1], [2]

- Selektivita

Selektivita znamená, že při poruše dojde k odpojení co nejmenší části elektrizační soustavy. Ideálně pouze prvku, na kterém porucha vznikla. Díky selektivitě tak zůstanou zařízení bez poruchy v provozu. Selektivitu lze zajistit několika způsoby. Jedná se například o časové odstupňování ochran, kdy ochrana nejbližší poruše působí v nejrychlejším čase. Dále pak odstupňováním úrovně měřené veličiny. [1], [2]

- Rychlost působení

Jakákoliv porucha má na zařízení nežádoucí účinky. Chceme, aby tyto účinky trvaly co možná nejkratší dobu a způsobily co nejmenší škody. Toto platí zejména při zkratech, které se snažíme vypnout co nejrychleji. Některé poruchy jsou pouze přechodného charakteru a samy zaniknou např. krátkodobá přetížení. Zde je tedy rychlé působení ochrany nežádoucí. Rychlost působení také závisí na výkonovém vypínači. K celkovému vypnutí tedy většinou dochází za 40–50 ms. [1], [2]

- Citlivost

Citlivost ochrany je dána nejmenší hodnotou stavové veličiny, při které dochází k působení ochrany. Tato hodnota musí být menší než hodnota poruchové veličiny.

Ochrana musí být dostatečně citlivá, aby dokázala reagovat na poruchu uvnitř chráněného objektu, ovšem přílišná citlivost může vést k působení ochrany na sousedním úseku, což je nežádoucí. [1], [2], [3]

- Přesnost

Přesnost můžeme určit pomocí níže uvedeného vztahu [2]:

$$p = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| * 100 (\%) \quad (1.1)$$

kde:

p – přesnost ochrany

x – nastavená citlivost ochrany

$x_a$  – rozsah možného nastavení ochrany

$x_b$  – skutečná citlivost ochrany

### 1.3. Dělení ochran

#### 1.3.1. Podle chráněného objektu na ochrany

- motoru
- generátoru
- transformátoru
- přípojnic
- vedení
- speciální

#### 1.3.2. Podle druhu poruchy na ochrany

- zkratové
- při přetížení
- přepět'ové
- podpět'ové
- kmitočtové
- při zemním spojení
- při zpětném toku výkonu
- při ztrátě buzení
- při nesouměrnosti

#### 1.3.3. Podle funkčního principu na ochrany

- proudové
- napět'ové
- distanční
- rozdílové
- srovnávací
- wattové
- jalové
- frekvenční
- při nesouměrnosti

#### 1.3.4. Podle doby působení

- mžikové – rychlost závisí pouze na době zpracování informace uvnitř ochrany a působí ihned po vzniku poruchy,
- časově nezávislé – doba působení ochrany je konstantní,
- časově závislé – doba působení se odvíjí od velikosti měřené veličiny,

#### 1.3.5. Podle konstrukce

- elektromechanické
- elektronické
- digitální [1], [2]



## 1.4. Základní členy ochrany

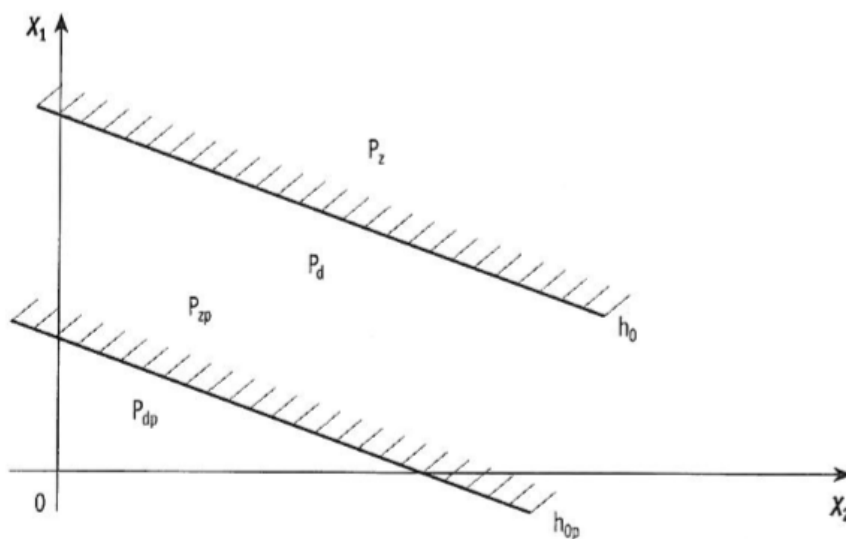
Každá ochrana se skládá z několika částí, které jsou nutné k jejímu provozu. Jejich druh i počet se odvíjí od použití dané ochrany.

### 1.4.1. Vstupní člen

Vstupní člen má na starosti převést vstupní veličinu na požadovaný tvar a úroveň. Vstupní veličinou bývá nejčastěji napětí a proud, a to v hodnotách 100 V a 1 nebo 5 A. Tyto veličiny jsou na vstup ochrany přivedeny pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudu. Vstupní hodnoty jsou převáděny na volty a miliampéry z důvodu co nejmenší velikosti daného zařízení. Převod je proveden pomocí bočníků, děličů či transformátorů. Pokud měřicí člen zpracovává pouze stejnosměrný signál, musí vstupní člen obsahovat ještě usměrňovač. U digitálních ochrany nalezneme A/D převodníky. [1], [2]

### 1.4.2. Popudový člen

Úkolem popudového členu je rozběhnout ochranu a aktivovat její další části (měřicí člen a logiku). Jeho citlivost je vyšší než u členu měřicího a v podstatě se od něj kromě zmíněné citlivosti neliší. Mohou mít stejné vlastnosti i charakteristiky. Slouží tedy k předání informací měřicímu členu a logice. Tyto členy rozhodují o vyhodnocení daného stavu. [2]



Obr. 2. Charakteristiky rozběhového a popudového měřicího členu [2]

- $h_0$  – charakteristika měřicího členu
- $h_{0p}$  – charakteristika popudového členu
- $P_z$  a  $P_d$  – zakázaný a dovolený prostor měřicího členu
- $P_{zp}$  a  $P_{dp}$  – zakázaný a dovolený prostor popudového členu

### 1.4.3. Logika

Logika má na starost činnost ochrany. Tedy například to, zda dojde pouze k signalizaci náběhu či k signalizaci a pokynu k vypnutí vypínači. Zpracovává signál z popudového členu, určuje funkci měřicího členu a na základě signálu z měřicího členu určuje funkci koncového členu. Typ logického

členu závisí na technologii výroby ochrany. Můžeme ho proto realizovat pomocí klasických relé, diod, tranzistorů, integrovaných obvodů atd. [1], [2]

#### 1.4.4. Měřicí člen

Pokud budeme vycházet z charakteristiky na Obr. 2, kde charakteristika měřícího členu je označena jak  $h_0$ , tak můžeme říci, že měřicí člen nám udává hranici mezi dovoleným a zakázaným prostorem. Měřicí člen z velké části ovlivňuje vlastnosti, které ochrana má. Jedná se především o selektivitu, citlivost a přesnost. [1], [2], [3]

Mezi měřícími členy můžeme rozlišit šest typů:

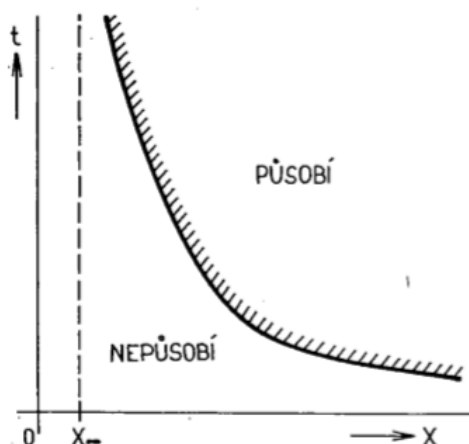
- amplitudový měřicí člen,
- závislý měřicí člen,
- rozdílový měřicí člen,
- amplitudový komparátor,
- součinnový měřicí člen,
- fázový komparátor.

##### **Amplitudový měřicí člen:**

Amplitudový měřicí člen měří velikost napětí nebo proudu. Pokud dojde k překročení nastavené hodnoty, tak působí. Podle sledované veličiny můžeme amplitudový měřicí člen rozdělit na 4 typy. Konkrétně se jedná o střídavý amplitudový měřicí člen na střední hodnotu, střídavý amplitudový měřicí člen na efektivní hodnotu, stejnosměrný amplitudový měřicí člen a amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu. [1], [3]

##### **Závislý měřicí člen:**

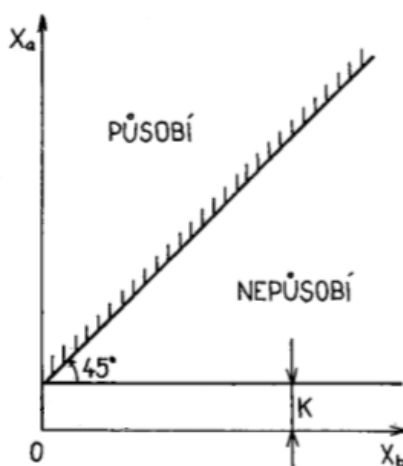
Jak můžeme vidět z uvedené charakteristiky, doba působení závislého měřícího členu je závislá na velikosti měřené veličiny. Čím vyšší je hodnota měřené veličiny, tím ochrana působí rychleji. Závislý měřicí člen se využívá hlavně v nadproudových ochranách proti přetížení. Použití je vhodné ve chvíli, kdy měřená veličina nečiní velké poškození přímo svou velikostí, ale akumulací energie během poruchy. [1], [3]



Obr. 3. Charakteristika závislého měřícího členu [1]

### Rozdílový měřicí člen:

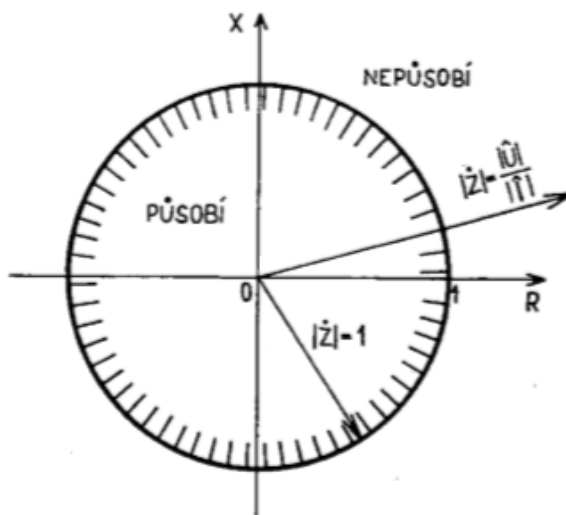
Rozdílový měřicí člen pracuje na principu porovnávání velikostí dvou vstupních veličin. K působení dochází, pokud veličina  $X_a$ , je větší než veličina  $X_b$  o nastavenou hodnotu citlivosti měřicího členu  $K$ . Rozdílový měřicí člen nalezne použití především v rozdílových ochranách. [1], [3]



Obr. 4. Charakteristika rozdílového měřicího členu [1]

### Amplitudový komparátor:

Jedná se o speciální případ rozdílového měřicího členu s velmi vysokou citlivostí, kdy  $K \rightarrow 0$ . Použití nalezne především v distančních ochranách, a to jako měřicí nebo popudový člen. [1], [3]



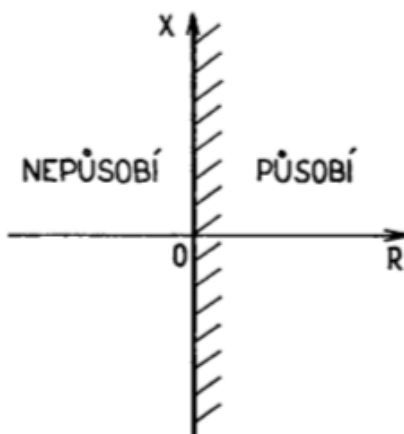
Obr. 5. Charakteristika amplitudového komparátoru [1]

### Součinnový měřicí člen:

Pokud na vstup přivedeme napětí  $U$  a proud  $I$  měří součinnový měřicí člen činný výkon. Své použití nalezne především v jalových či wattových ochranách. [1], [3]

### Fázový komparátor:

Fázový komparátor je v podstatě součinnový měřící člen s velmi velkou citlivostí, kdy  $K=0$ . Výstup tedy nezávisí na amplitudách vstupních veličin, ale na jejich fázovém úhlu. Fázový komparátor se používá především u srovnávacích ochran nebo jako součást směrového členu. [1], [3]



Obr. 6. Charakteristika fázového komparátoru [1]

#### 1.4.5. Časový člen

Časový člen způsobuje prodloužení doby, za kterou ochrana začne působit. Toto zpoždění může být žádoucí z několika důvodů. Prvním může být například zajištění selektivity, protože je žádoucí, aby působila ochrana nejbližší poruše. Druhým důvodem je vyloučení chybného působení ochrany. Toto chybné působení může nastat u přechodných poruch nebo poruch s krátkou dobou trvání. Dalším důvodem pak je akumulace energie, kdy časovým zpožděním může ochrana dovolit přetížení objektu, které ho zároveň neohroží. Časový člen není součástí mžikových ochran. [1], [3]

#### 1.4.6. Koncový člen

Na vstup koncového členu přichází signál z logiky ochrany, na jehož základě koncový člen ovládá výkonový vypínač. Jedná se o elektromagnetické relé s výkonovými kontakty. [1], [2]

#### 1.4.7. Napájecí člen

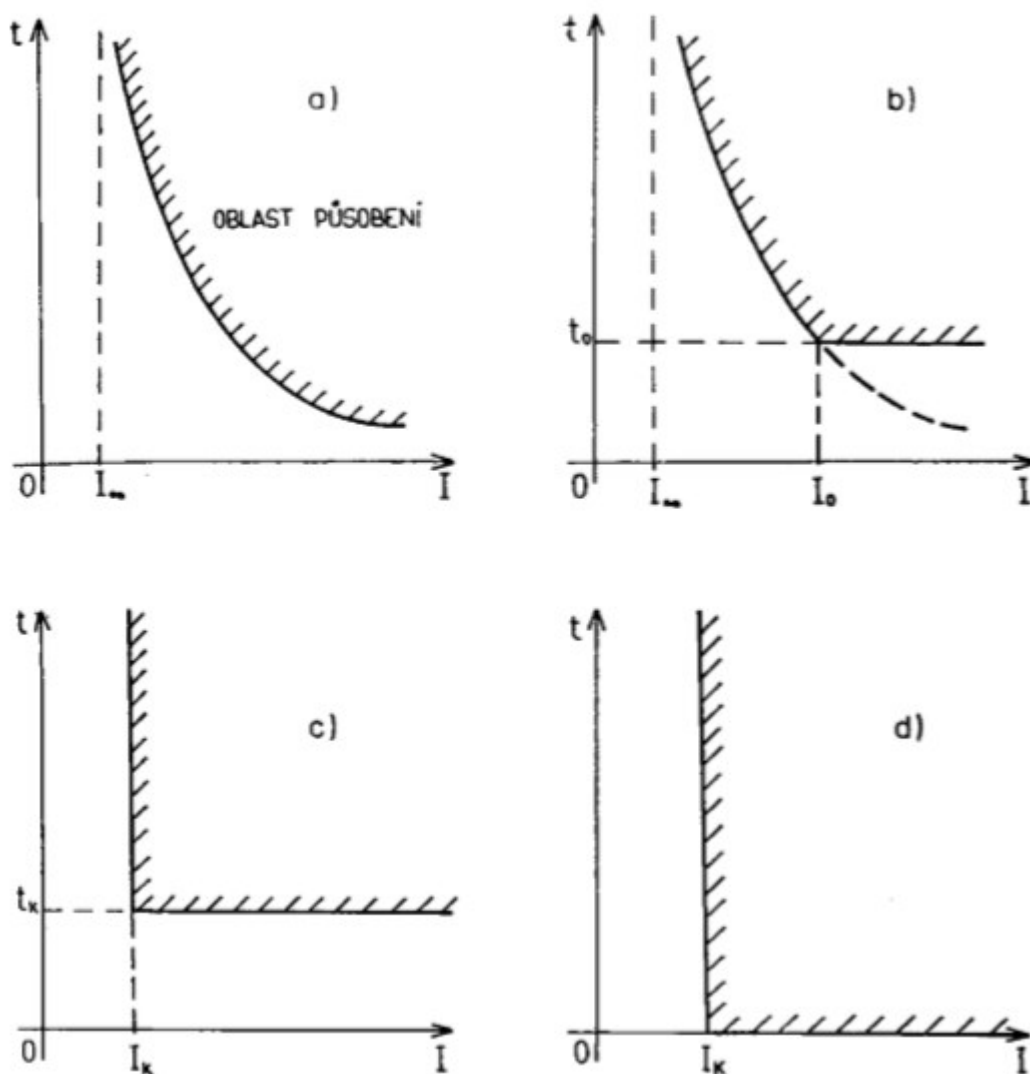
Napájecí člen slouží k napájení jednotlivých členů ochrany, které pro svůj provoz potřebují elektrickou energii. Nejčastějším způsobem napájení ochrany je napájení z akumulátorové baterie. Je možné i napájení ze střídavé sítě, ale u tohoto typu je problém s nižší spolehlivostí. Dále můžeme napájet přímo z přístrojových transformátorů. [1], [2]

#### 1.4.8. Filtry souměrných složek

Filtry souměrných složek můžeme použít v popudovém či měřícím členu. Tyto filtry slouží k odhalování nesymetrických poruch. Využíváme filtry nulové složky a filtry sousledné a zpětné složky proudu. [1]

## 1.5. Nadproudové ochrany

Nadproudové ochrany reagují na zvýšenou hodnotu proudu nad jmenovitou hodnotu. Ke zvýšení proudu dochází například při přetížení nebo zkratu. Jejich největší výhodou je jednoduchost. Nevýhodou je pak horší selektivita, lépe jsou na tom například distanční ochrany. Používají se hlavně u vedení vn, méně důležitých zařízení nebo jako ochrany záložní. Z hlediska jejich působení rozeznáváme několik typických charakteristik. Níže jsou uvedeny některé z nich. [1], [2], [3]



Obr. 7. Charakteristiky nadproudových ochrany [1]

### a) Závislá ochrana

Doba působení ochrany závisí na velikosti proudu. Charakteristika je definována takto [3]:

$$t = \frac{K}{(i - i_{\infty})^n} \quad (1.2)$$

pro  $i > i_{\infty}$

$$t = \infty \quad (1.3)$$

$$\text{pro } i \leq i_{\infty}$$

Z rovnic vidíme, že pokud je procházející proud menší nebo roven  $I_{\infty}$ , ochrana nereaguje.

#### b) Polozávislá ochrana

Platí zde stejná rovnice jako pro závislou ochranu, ovšem pouze do hodnoty proudu  $I_0$ . Pro proudy dosahující větší hodnoty se už doba působení nezkracuje a je konstantní. [1], [3]

#### c) Nezávislá ochrana

Aby nezávislá ochrana působila, musí být splněno  $I > I_k$ . Při překročení nastavené hodnoty proudu  $I_k$  ochrana působí za čas  $t_k$ . Čas je konstantní a doba působení nezávisí na velikosti proudu. [1], [3]

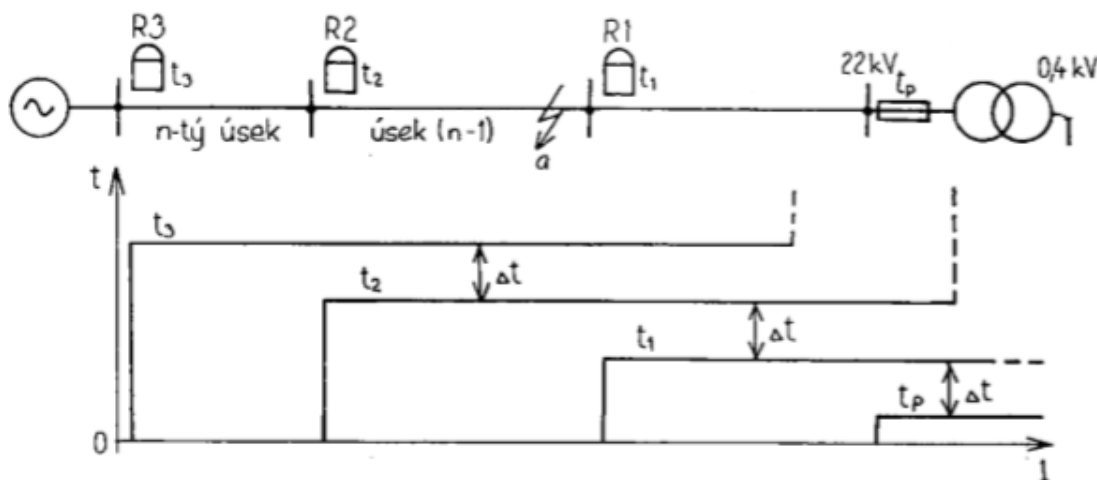
#### d) Mžiková ochrana

Mžiková ochrana působí okamžitě po překročení nastavené hodnoty proudu  $I_k$ . Není zde nastaveno žádné časové zpoždění, a to je tedy dáno pouze vlastním časem ochrany. K vypnutí dochází do 10 ms. [1], [3]

K realizaci nadproudové ochrany použijeme členy uvedeny výše.

### 1.5.1. Nezávislé nadproudové ochrany

Nezávislé nadproudové ochrany nejčastěji najdeme v paprskových sítích vysokého napětí. Jako hlavní ochrany se využívají v distribuci a v rozvodech pro průmyslové podniky. Abychom dosáhli potřebné selektivity mezi ochranami, je nutné je odstupňovat buď časově anebo proudově. Nejkratší čas vypnutí ( $t_1$ ) bude mít nastavena ochrana, která leží nejdále od zdroje. Ovšem nastavený čas musí respektovat ochrany následující rozvodné síť. Čím blíže leží ochrana ke zdroji, tím se prodlužuje i čas působení. U R2 to bude  $t_2 = t_1 + \Delta t$  a u R3 pak  $t_3 = t_2 + \Delta t$ . Kde  $\Delta t$  je koordinační interval. Pokud tedy nastane zkrat, v naznačeném místě „a“ dojde k rozběhnutí ochrany R2 a R3. Vypnutí provádí ochrana R2 za čas  $t_2$ . Pokud by došlo k selhání, tak reaguje ochrana R3 za delší čas  $t_3$ . [1], [3]



Obr. 8. Vypínací plán nadproudových nezávislých ochrany v paprskové síti [1]

Jako největší nevýhodu tohoto typu ochran můžeme označit právě zvolené časové odstupňování, kdy nejhorší zkraty vznikající hned za zdrojem, budou vypínány za nejdelší čas. V tomto ohledu jsou lepší ochrany distanční. Mezi výhody pak můžeme zařadit vzájemnou zálohu ochran. Při jejich nastavování si ovšem musíme dát pozor na to, aby ochrany nenabíhaly při normálním provozním zatížení. [1]

#### Nastavování nadproudových ochran:

##### a) Stanovení stupně $\Delta t$ časové selektivity

K dosažení požadované selektivity je nutné ochrany časově odstupňovat. Prodlevu  $\Delta t$  určíme jako rozdíl časového zpoždění ochran ve dvou sousedních úsecích. [1], [2]

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (1.4)$$

Stupeň časové selektivity  $\Delta t$  by měl dosahovat co nejmenší velikosti, kvůli snížení časového zpoždění celého systému nadproudových ochran. Zároveň porucha na úseku n-1 musí být odpojena dříve, než reaguje ochrana na úseku n. Při výpočtu uvažujeme následující aspekty [1]:

- doba  $t_{v(n-1)}$  za, kterou vypne vypínač předcházejícího úseku,
- celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku  $t_{r(n-1)}$ ,
- celková absolutní největší záporná chyba  $t_m$  časového členu následující ochrany,
- záložní čas  $t_z$ , který zahrnuje nepřesnost přecházejících činitelů (cca 0,1s).

Můžeme tedy napsat:

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad (1.5)$$

##### b) Nastavení rozběhového proudu

Aby ochrana náležitě plnila svou funkci, musí být rozběhový proud  $I_r$  větší než největší dovolené zatížení vedení. Vypočteme ho takto [1]:

$$I_r \geq \frac{k_b * I_n}{k_p * p_i} \quad (1.6)$$

kde:

- $I_n$  – největší dovolené zatížení vodičů vedení
- $k_b$  – je koeficient bezpečnosti
- $k_p$  – je přídržný poměr relé
- $p_i$  – jmenovitý převod jistícího transformátoru proudu

Rozběhový proud musí být ovšem menší než nejmenší očekávaný zkratový proud, který se může vyskytnout na konci chráněného úseku při omezeném provozním zapojení dané sítě. Většina sítí vn je provozována jako izolovaná, tudíž nejmenší zkratový proud nastává při dvojpólovém zkratu. [1], [2]

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c * p_i} \quad (1.7)$$

kde:

$I_{kmin}$  – nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku  
 $k_c$  – koeficient citlivosti

Koeficient citlivosti bývá volen na základě praktických zkušeností. Je zde totiž nutnost vysoké rezervy v nastavení ochrany. Musíme uvážit fakt, že zapojení sítě se neustále mění, ať v důsledku oprav či nahodilých poruch, díky čemuž dochází i ke změně velikosti zkratových proudů. [1]

c) Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

Pokud máme paprskovou síť, která má na přípojnicích další vývody, musíme zajistit, že ochrana blíže ke zdroji nebude citlivější než ochrany na dalších vzdálenějších úsecích. [1], [2]

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) I_{r(n-1)} \quad (1.8)$$

kde  $I_r$  a  $I_{r(n-1)}$  je proudové nastavení ochrany v daných úsecích.

d) Podpět'ové odblokování nadproudových ochran

Podpět'ové blokování se používá z důvodu zvýšení selektivity nadproudových nezávislých ochran. Využití nalézá hlavně u krátkých vedení. Pokud je vedení dlouhé, není citlivost podpět'ového relé dostatečná. Podpět'ové blokování se také nehodí pro síť s velkými asynchronními motory. Funkce spočívá v tom, že nadproudová ochrana vypíná pouze tehdy, když poklesne napětí v místě připojení pod nastavenou hodnotu. Tuto hodnotu můžeme teoreticky určit ze vztahu [1]:

$$U_r \leq \left| \frac{Z_l}{Z_s + Z_l} \right| * U_i \quad (1.9)$$

kde:

$U_r$  – hodnota napětí, při které dojde k rozběhnutí podpět'ového relé  
 $Z_s$  – náhradní impedance napájecí soustavy  
 $Z_l$  – impedance chráněného úseku  
 $U_i$  – vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy

V praxi platí, že ochrana v místě jejího připojení nesmí působit, pokud napětí klesne na minimální pracovní hodnotu  $U_{min}$ , a zároveň musí spolehlivě působit v celé délce chráněného úseku vedení. Pro splnění obou podmínek musí platit, že rozběhové napětí ochrany bude menší než minimální pracovní napětí a současně musí po poruše dojít k navrácení do klidové polohy [1]:

$$U_r < \frac{k_p * U_{min}}{k_b * p_n} \quad (1.10)$$

kde:

$k_p$  – přídržný poměr  
 $k_b$  – koeficient bezpečnosti  
 $p_n$  – převod transformátoru napětí



Pro odblokování ochrany pak platí [1]:

$$U_r > k_c * \frac{U_{kmax}}{p_n} \quad (1.11)$$

kde:

$U_{kmax}$  – nejvyšší hodnota napětí v místě připojení během zkratu na konci úseku chráněného ochranou

$k_c$  – koeficient citlivosti (bývá větší než 1,5)

### 1.5.2. Závislé nadproudové ochrany

Další možností, jak chránit síť před nepříznivými účinky nadproudů a zkratů, jsou závislé nadproudové ochrany. Na rozdíl od nezávislých nadproudových ochrany, kde je vypínací čas konstantní, je vypínací čas u tohoto typu ochrany závislý na velikosti protékajícího poruchového proudu. Největší výhodou závislé nadproudové ochrany je kratší vypínací čas, pokud vznikne zkrat na začátku vedení, tedy těsně u zdroje. [1], [2], [3]

Zvolená charakteristiky nadproudové ochrany [1]:

$$(I - I_\infty)t = K \quad (1.12)$$

kde:

$I_\infty$  – jmenovitý proud chráněného objektu

$K$  – nastavení ochrany

Velikost zkratového proudu na začátku chráněného úseku, pokud je  $Z_s$  impedance napájecí soustavy:

$$I_z = \frac{U_i}{Z_s} \quad (1.13)$$

A na konci daného chráněného úseku, který má impedanci  $Z_l$ :

$$I_k = \frac{U_i}{|Z_s + Z_l|} \quad (1.14)$$

Pokud aplikujeme zjednodušení, kde  $I_\infty=0$ , pak můžeme napsat, že vypínací čas na začátku a konci chráněného úseku bude:

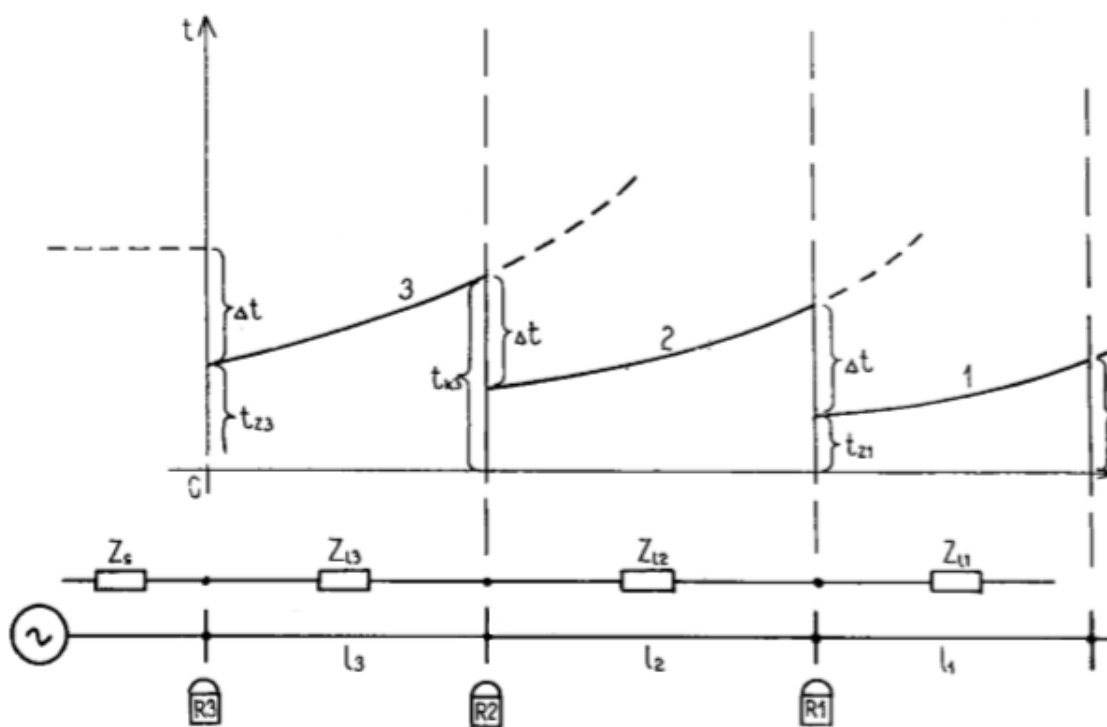
$$t_z = \frac{K}{I_z} = \frac{K * Z_s}{U_i} \quad (1.15)$$

$$t_k = \frac{K}{I_k} = \frac{K * |Z_s + Z_l|}{U_i} \quad (1.16)$$

Poměr doby, za kterou dojde k vypnutí zkratu na začátku a konci linky:

$$\frac{t_z}{t_k} = \left| \frac{Z_s}{Z_s + Z_l} \right| \quad (1.17)$$

Jak již bylo zmíněno, výhoda závislé ochrany spočívá v tom, že zkracuje dobu, za kterou je vypnut zkrat na začátku vedení blíže zdroji, kde vznikají těžší zkraty. Aby toto bylo možné, je nutné splnit podmínku  $Z_1 \geq Z_s$ . Pokud by impedance  $Z_1$  byla příliš malá, uvedený poměr by se blížil nebo rovnal 1 a ke zkrácení vypínacího času by nedošlo. Můžeme tedy říct, že poměr musí být dostatečně malý a na okrajových vedeních soustavy s velkou hodnotou  $Z_s$  se tato výhoda neprojeví. Dále je důležité, aby impedance  $Z_s$  zůstala konstantní. Pokud by došlo k jejímu růstu, prodlužovaly by se vypínací časy závislých ochrany a tím se zhoršovala selektivita. [1], [3]



Obr. 9. Vypínací plán nadproudových závislých ochrany v paprskové síti [1]

Závislé nadproudové ochrany najdou své využití v paprskových sítích vn s uzemněným uzlem transformátoru. Využívání kombinace jak nezávislých, tak závislých nadproudových ochrany na úsecích jednoho paprsku je nežádoucí a mohlo by dojít k chybnému vypínání. U nás se nejčastěji používají nadproudové ochrany nezávislé. [1], [3]

### 1.5.3. Směrové nadproudové ochrany

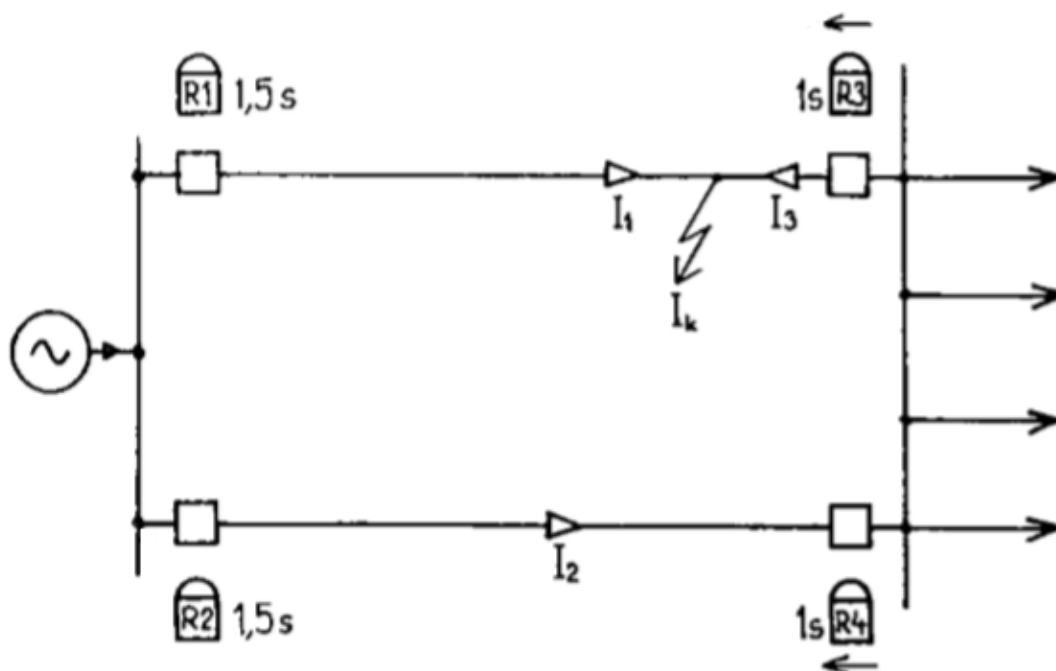
Směrová nadproudová ochrana se využívá k zajištění selektivity a působí pouze v jednom směru. Využití směrových nadproudových ochrany najdeme všude tam, kde může být místo zkratu napájeno ze dvou stran. Například okružní síť, paralelní vedení nebo paprsková síť napájená ze dvou stran. Použitý směrový článek je zkonstruován jako součinnový měřicí člen. Může se jednat například o elektrodynamické či indukční relé měřící směr toku jalového či činného výkonu. Je zde vyžadována vysoká citlivost. V praxi nejčastěji najdeme nezávislý typ těchto ochrany, tzn. ochrana má určité konstantní časové zpoždění, které se volí tak, aby byla zajištěna selektivita. [1], [2], [3]

Abychom provedli správné proudové nastavení, je nutné uvažovat tzv. koeficient větvení  $k_v$  zkratového proudu, který zahrnuje možné rozdělení do paralelních větví a také možné přidavné zdroje.

Vycházíme z rovnice pro koordinaci proudového nastavení nadproudových ochran, kterou upravíme na tvar [1]:

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) \frac{I_{r(n-1)}}{k_v} \quad (1.18)$$

Na přiloženém obrázku (Obr. 10) můžeme vidět funkci směrových nadproudových ochran. Zkrat vznikl mezi ochranami R1 a R3. Pokud bychom na vedeních měli pouze ochrany R1 a R2, došlo by k vypnutí obou vedení (tedy i toho na kterém není porucha). K stejnému stavu by došlo i ve chvíli kdy by ochrany R3 a R4 nebyly směrové, proto tyto dvě ochrany vybavíme směrovým článkem. Při vzniku zkratu dojde k naběhnutí nadproudových článků všech ochran. Jako první vypíná za 1 s ochrana R3, u ochrany R4 je vypnutí blokováno směrovým článkem. Ochrana R2 přejde do klidového režimu a definitivní vypnutí provádí za 1,5 s ochrana R1. [1]



Obr. 10. Využití směrových nadproudových ochran [1]

## 2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

### 2.1. Úvod

Zkraty patří mezi nejrozšířenější druhy poruch v elektrizační soustavě. Ke vzniku zkratu dojde vodivým spojením mezi dvěma a více fázemi nebo fází a zemí v soustavě s uzemněným uzlem. V soustavě s izolovaným uzlem vzniká při vodivém spojení fáze a země takzvané zemní spojení. [4]

V důsledku zkratu dochází ke zmenšení impedance v postižené části sítě. Dále k zmenšení napětí a vzniku nežádoucího zkratového proudu, který obvykle několikanásobně přesahuje běžný provozní proud. V místě zkratu také dochází k vzniku přechodných odporů, jejichž určení je velice obtížné hlavně z důvodu změny délky oblouku a tím i změně odporu oblouku. [4], [6]

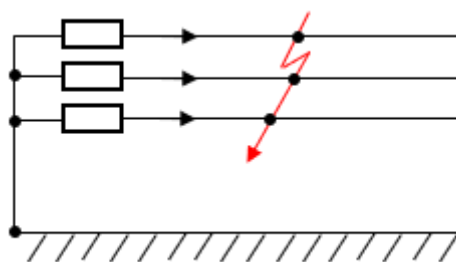
Zkraty mohou vzniknout například díky špatné manipulaci, počasí, poruše izolace, která může být způsobena přepětím, jejím zestárnutím, přímým úderem blesku či mechanickým poškozením. Námi dimenzovaná zařízení musí odolat nepříznivým účinkům zkratových proudů, které mají tepelné a silové účinky, mohou způsobit elektrické poškození dielektrik a izolátorů, tepelná poškození vodičů a mechanická poškození. [3], [4]

### 2.2. Druhy zkratu

Zkraty můžeme rozdělit na symetrické a nesymetrické. Mezi symetrické patří trojfázový a trojfázový zemní. Mezi nesymetrické pak dvoufázový, dvoufázový zemní a jednofázový. U venkovních vedení se nejčastěji setkáme se zkratem jednofázovým, u kabelových je to zkrat trojfázový. [4]

#### 2.2.1. Trojfázový zkrat

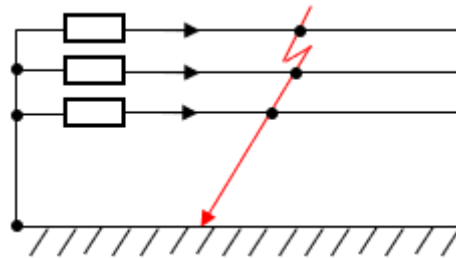
Trojfázový zkrat nastane při spojení všech tří fází v jednom místě. Při takovémto typu zkratu dochází k výraznému poklesu napětí ve všech třech fázích a zároveň k nárůstu proudů. Jedná se o nejvážnější typ poruchy, která ohrožuje dynamickou stabilitu soustavy. Snažme se o co nejrychlejší vypnutí. [2]



Obr. 11. Trojfázový zkrat

### 2.2.2. Trojfázový zemní zkrat

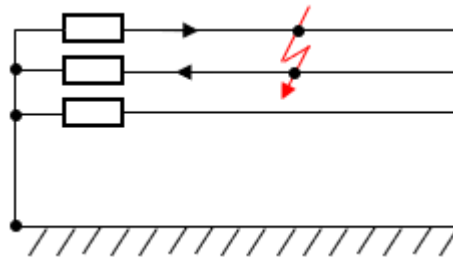
Trojfázový zemní zkrat nastane při spojení všech tří fází a současně jejich spojení se zemí. [2]



Obr. 12. Trojfázový zemní zkrat

### 2.2.3. Dvoufázový zkrat

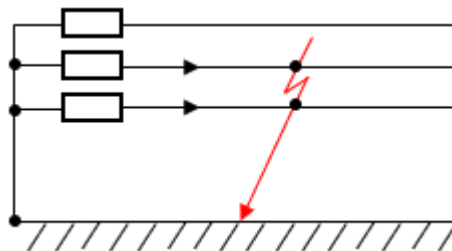
Dvoufázový zkrat vznikne při vzájemném spojení dvou fází. Může k němu dojít například vlivem silné námrazy v kombinaci s bočním větrem či přetrhnutím dvou lan a jejich spojením. [2]



Obr. 13. Dvoufázový zkrat

### 2.2.4. Dvoufázový zemní zkrat

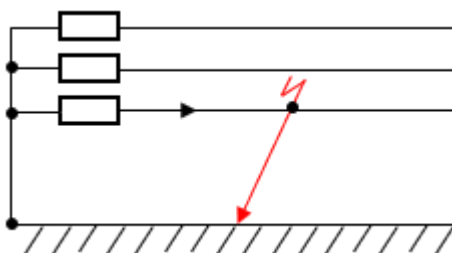
Dvoufázový zemní zkrat vzniká spojením dvou fází a země v jednom místě. Může být způsoben například pádem dvou lan na zem. [2]



Obr. 14. Dvoufázový zemní zkrat

### 2.2.5. Jednofázový zkrat

Jak již bylo zmíněno, jedná se o nejčastější poruchu na venkovních vedeních. Může nastat například při přiblížení větví k vodičům a následnému přeskočení oblouku. Jednopolový typ poruch představuje přes 90 % všech poruch na vedení. Nutno podotknout, že velká část z nich je pouze přechodného charakteru a při použití automatiky OZ je můžeme likvidovat bez potřeby opravy či výjezdu zásahové skupiny. [2]

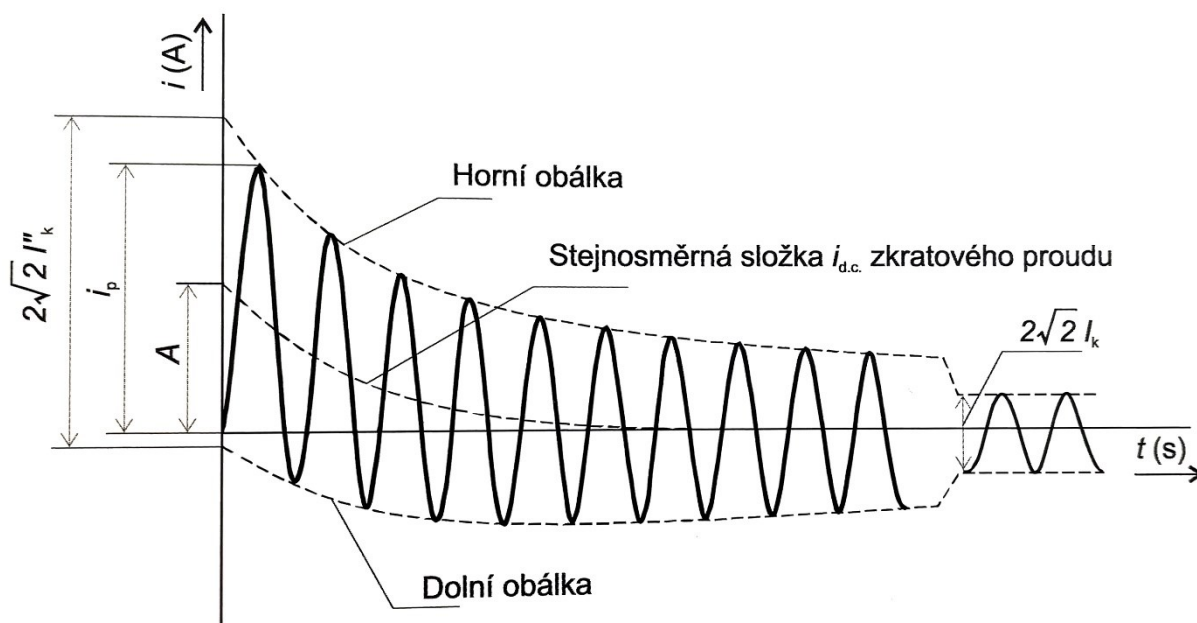


Obr. 15. Jednofázový zkrat

## 2.3. Výpočet zkratových proudů

### 2.3.1. Časový průběh zkratového proudu

Při zkratu dochází k náhlé změně impedance, v důsledku čehož probíhá v synchronních strojích a dalších prvcích elektrizační soustavy přechodný děj. Průběh zkratového proudu v závislosti na čase je neharmonický, protože energie magnetického pole se ve výše zmíněných prvcích nemůže měnit skokově. Zkratový proud dosáhne své nejvyšší hodnoty v prvních okamžicích po svém vzniku. Se zvyšující se dobou trvání zkratu zkratový proud klesá, až dojde k ustálení na harmonickém průběhu. [6]



Obr. 16. Časový průběh zkratového proudu [6]

### 2.3.2. Charakteristické hodnoty průběhu zkratového proudu

#### Počáteční souměrný rázový zkratový proud $I_k''$ :

Efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci. [6]

$$I_k'' = \frac{U_{vyp}}{Z_k} \quad (2.1)$$

$$U_{vyp} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3}} \quad (2.2)$$

kde:

$U_{vyp}$  – výpočtové napětí

$c$  – napěťový činitel

$U_n$  – jmenovité napětí

#### Nárazový zkratový proud $i_p$ :

Maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu. [6]

$$i_p = \sqrt{2} * \kappa * I_k'' \quad (2.3)$$

kde:

$\kappa$  – součinitel nárazového zkratového proudu

#### Souměrný zkratový vypínací proud $I_b$ :

Efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení. [6]

#### Ustálený zkratový proud $I_k$ :

Efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu. [6]

#### Ekvivalentní oteplovací zkratový proud $I_{th}$ :

Efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a mění se v čase. [6]

$$I_{th} = I_k'' * \sqrt{m + n} \quad (2.4)$$

kde:

$m$  – součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky

$n$  – součinitel pro tepelné účinky střídavé složky

#### Doba trvání zkratu $t_k$ :

Celková doba od vzniku zkratu po jeho vypnutí. [6]

### 2.3.3. Metoda ekvivalentního napětového zdroje

Základními metodami pro výpočet počátečního rázového zkratového proudu je metoda superpozice a metoda ekvivalentního napětového zdroje. V práci a při výpočtu zkratových poměrů bude využita metoda ekvivalentního napětového zdroje, jelikož se jedná o metodu, kterou využívá i norma ČSN EN 60909-0 ed. 2. Metoda spočívá v zavedení ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu. Tento zdroj je pak jediným aktivním napětím soustavy. Při výpočtu všechny prvky jako napájecí body či synchronní a asynchronní stroje nahrazujeme jejich vnitřní impedancí. Paralelní admitance (například paralelní admitance vedení či transformátorů) je možno v sousledné a zpětné složce zanedbat. [6]

$$E = \frac{c * U_n}{\sqrt{3}} \quad (2.5)$$

kde:

- c – napětový součinitel
- $U_n$  – sdružená hodnota jmenovitého napětí sítě
- E – napětí ekvivalentního napětového zdroje

Výpočet může být realizován dvěma způsoby [6]:

- ve fyzikálních jednotkách – veličiny jsou označeny velkými písmeny, celý výpočet je realizován ve skutečných fyzikálních hodnotách,
- v poměrných hodnotách – veličiny jsou označeny malými písmeny, výpočet je realizován v poměrných hodnotách, které jsou přepočteny pomocí vztažných hodnot.

Zkraty můžeme rozdělit na zkraty vzdálené a blízké. O zkratu vzdáleném mluvíme ve chvíli, kdy efektivní hodnota střídavé složky zkratového proudu nemění svou velikost s časem. Místo zkratu je elektricky vzdáleno od zdrojů zkratového proudu a podíl asynchronních motorů je pod 5 %. Naopak zkrat blízký se vyznačuje změnou střídavé složky zkratového proudu v čase, zdroje zkratového proudu nejsou dostatečně vzdáleny od místa zkratu a příspěvek asynchronních motorů přesahuje hodnotu 5 %.

Výpočet slouží k určení maximálního a minimálního zkratového proudu. Maximální zkratový proud je důležitý z hlediska dimenzování elektrického zařízení, a určuje tedy zkratovou odolnost. Minimální zkratový proud pak slouží pro nastavení ochran či volbu pojistek. [6]

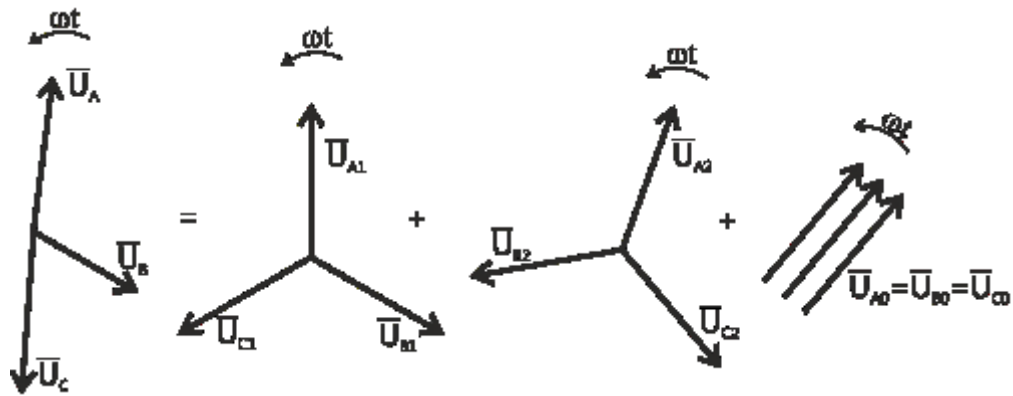
### 2.3.4. Metoda souměrných složek

Zatímco na kabelových vedeních je nejčastějším typem zkratu zkrat třífázový, na venkovních vedeních je to zkrat jednofázový. Jednofázové a dvoufázové zkraty jsou zkraty nesouměrné a při takovéto poruše se na výsledné hodnotě zkratového proudu nepodílí všechny fáze stejnou mírou. Řešení takovýchto zkratů si můžeme zjednodušit využitím metody souměrných složek. [6]

Nejdříve provedeme rozklad nesymetrického vektoru na součet vektorů symetrických [6]:

$$\begin{aligned} \bar{U}_A &= \bar{U}_{A1} + \bar{U}_{A2} + \bar{U}_{A0} \\ \bar{U}_B &= \bar{U}_{B1} + \bar{U}_{B2} + \bar{U}_{B0} \\ \bar{U}_C &= \bar{U}_{C1} + \bar{U}_{C2} + \bar{U}_{C0} \end{aligned} \quad (2.6)$$





Obr. 17. Náhrada nesymetrických fázorů symetrickými fázory [6]

dále můžeme napsat:

$$\begin{aligned}\bar{U}_A &= \bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_0 \\ \bar{U}_B &= \bar{a}^2 \bar{U}_1 + \bar{a} \bar{U}_2 + \bar{U}_0 \\ \bar{U}_C &= \bar{a} \bar{U}_1 + \bar{a}^2 \bar{U}_2 + \bar{U}_0\end{aligned}\quad (2.7)$$

kde  $\bar{a}$  je operátor pro který platí:

$$\begin{aligned}\bar{a} &= e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \\ \bar{a}^2 &= e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}, \\ 1 + \bar{a} + \bar{a}^2 &= 0\end{aligned}\quad (2.8)$$

Nesymetrickou soustavu fázorů napětí můžeme označit  $\bar{U}_f$  a symetrickou  $\bar{U}_s$

$$\bar{U}_f = \begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ \bar{U}_B \\ \bar{U}_C \end{bmatrix}, \bar{U}_s = \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \end{bmatrix}\quad (2.9)$$

Následně můžeme vytvořit maticový tvar rovnic (2.7)

$$\bar{U}_f = \bar{F} * \bar{U}_s\quad (2.10)$$

kde  $\bar{F}$  je:

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \bar{a}^2 & \bar{a} & 1 \\ \bar{a} & \bar{a}^2 & 1 \end{bmatrix}\quad (2.11)$$

jelikož determinant matice  $\bar{F} \neq 0$ , můžeme provést inverzi:

$$\bar{U}_s = \bar{F}^{-1} * \bar{U}_f\quad (2.12)$$

kde:

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Maticovou rovnici (2.12) můžeme rozepsat do soustavy rovnic:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= \frac{1}{3}(\bar{U}_A + \bar{a}\bar{U}_B + \bar{a}^2\bar{U}_C), \\ \bar{U}_2 &= \frac{1}{3}(\bar{U}_A + \bar{a}^2\bar{U}_B + \bar{a}\bar{U}_C), \\ \bar{U}_0 &= \frac{1}{3}(\bar{U}_A + \bar{U}_B + \bar{U}_C). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Abychom zjistili proudy v každé fázi vyjdeme z rovnic pro napětí (2.7) a (2.14)

$$\begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0 \\ \bar{I}_B &= \bar{a}^2\bar{I}_1 + \bar{a}\bar{I}_2 + \bar{I}_0 \\ \bar{I}_C &= \bar{a}\bar{I}_1 + \bar{a}^2\bar{I}_2 + \bar{I}_0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Pro proudy souměrných složek můžeme napsat:

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= \frac{1}{3}(\bar{I}_A + \bar{a}\bar{I}_B + \bar{a}^2\bar{I}_C), \\ \bar{I}_2 &= \frac{1}{3}(\bar{I}_A + \bar{a}^2\bar{I}_B + \bar{a}\bar{I}_C), \\ \bar{I}_0 &= \frac{1}{3}(\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C). \end{aligned} \quad (2.16)$$

kde:

- $\bar{I}_1$  – proud sousledné složky soustavy
- $\bar{I}_2$  – proud zpětné složky soustavy
- $\bar{I}_0$  – proud netočivé složky soustavy

### 2.3.5. Všeobecné zásady pro výpočet

Výpočet minimálních a maximálních zkratových proudů se provádí podle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2. Aby byl proveden správně a dostatečně přesně, uvažujeme následující předpoklady [6],[7]:

- nedochází ke změnám typu zkratového proudu po celou dobu trvání zkratu,
- po celou dobu trvání zkratu nedochází k žádným změnám v soustavě,
- uvažujeme dokonalý zkrat (kovový), bez uvažování odporu oblouku,
- zanedbáváme všechny paralelní admitance, netočivé statické zátěže a kapacity vedení, kromě paralelních admitancí v netočivé soustavě.
- impedanci transformátorů uvažujeme pro nastavení přepínače odboček do základní polohy.

### 2.3.6. Stanovení maximálního zkratového proudu

Pokud chceme určit maximální hodnotu zkratového proudu, musíme uvažovat takový stav soustavy, který je pro ni co nejméně příznivý. Při výpočtu zavádíme tyto předpoklady [6],[7]:

- z tabulky Tab. 1 s uvedenými napěťovými součiniteli použijeme napěťový součinitel  $c_{\max}$ ,
- uvažujeme takové zapojení elektrizační soustavy s maximálními příspěvky z elektráren a síťových napáječů, abychom v místě zkratu dosahovali maximální hodnoty zkratového proudu,
- uvažujeme chod motorů a počítáme s jejich příspěvky ke zkratovému proudu,
- rezistence vedení se počítá při teplotě vodičů 20 °C.

### 2.3.7. Stanovení minimálního zkratového proudu

Pokud chceme určit minimální hodnotu zkratového proudu, uvažujeme omezený provozní stav soustavy a při výpočtu předpokládáme [6], [7]:

- z tabulky Tab. 1 s uvedenými napěťovými součiniteli použijeme napěťový součinitel  $c_{\min}$ ,
- uvažujeme takové zapojení elektrizační soustavy s minimálními příspěvky z elektráren a síťových napáječů, abychom v místě zkratu dosahovali minimální hodnoty zkratového proudu,
- neuvažujeme vliv motorů,
- při výpočtu s rezistencí vedení uvažujeme maximální přípustnou provozní teplotu.

### 2.3.8. Postup výpočtu

Při výpočtu zkratových proudů začneme nakreslením základního schématu zapojení obvodu. Ve schématu uvedeme veškeré parametry uvažovaných prvků a jmenovité hodnoty sítí. Dále do schématu zaznačíme místa, pro která budeme počítat hodnotu zkratového proudu. [4], [6]

Další bodem bude nakreslení náhradního schématu pro výpočet sousledné složky v případě trojfázového zkratu. V případě nesymetrického zkratu přibudou ještě schémata zpětné a netočivé složky. Tato schémata vycházejí ze základního schématu zapojení obvodu. Abychom mohli tyto schémata zjednodušit a zjistit tak celkovou zkratovou impedanci obvodu vztaženou k místu zkratu, je nutné vypočítat zkratové impedance jednotlivých zařízení. Tyto impedance nejsou běžně známy a vztahy pro výpočet jsou uvedeny níže. [4], [6]

Výpočet může probíhat ve fyzikálních jednotkách či poměrných hodnotách. Pokud zvolíme výpočet v poměrných hodnotách musíme zvolit vztažné napětí, které volíme podle napěťové hladiny, na které došlo ke zkratu a vztažný výkon. Vztažný výkon můžeme zvolit jako součet výkonů jednotlivých generátorů. [6]

Hodnotu impedance vztaženou k místu zkratu určujeme pro každý složkový systém. Můžeme říci, že pro symetrické složky impedance platí  $\overline{Z}_1 = \overline{Z}_2 = \overline{Z}_0$  pokud prvek elektrizační soustavy, neobsahuje žádné magnetizační vazby mezi fázemi (tlumivka pro omezení zkratových proudů). Naopak pokud prvek obsahuje magnetické vazby obvodů, ale obvody se vůči sobě nepohybují (například

transformátor), pak se sousledná složka rovná zpětné  $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2$  a pro určení netočivé složky je důležitý způsob uzemnění. Toto platí pro transformátory, venkovní a kabelová vedení a podobné. Pro generátory či elektrárenské bloky se zkratová impedance násobí korekčními činiteli. [4], [6]

Po výpočtu výsledné impedance obvodu do místa zkratu můžeme vypočítat počáteční rázový zkratový proud  $I_k''$ , který teče do místa zkratu. [6]

V případě potřeby můžeme určit příspěvky od možných zdrojů zkratového proudu či určit parametry, které určují zkratové poměry. [6]

## 2.4. Výpočet zkratových proudů ve fyzikálních jednotkách

Ve své práci se budu dále zabývat výpočtem zkratu pouze ve fyzikálních jednotkách.

Počáteční rázový zkratový proud  $I_{k3}''$  pro trojfázový zkrat určíme ze vztahu:

$$I_{k3}'' = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} |\bar{Z}_{(1)}|} \quad (2.17)$$

Počáteční rázový zkratový proud  $I_{k2}''$  pro dvoufázový zkrat určíme ze vztahu:

$$I_{k2}'' = \frac{c * U_n}{|\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)}|} \quad (2.18)$$

Počáteční rázový zkratový proud  $I_{k1}''$  pro jednofázový zkrat určíme ze vztahu:

$$I_{k1}'' = \frac{c * \sqrt{3} * U_n}{|\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)} + \bar{Z}_{(0)}|} \quad (2.19)$$

Dále je pro výpočet počátečního rázového zkratového proudu důležité správně určit hodnotu napěťového činitele  $c$  [6]:

Tab. 1. Hodnota napěťového součinitele

Napěťová hladina v místě zkratu	$c_{\max}$	$c_{\min}$
nn	1,00	0,95
vn, 110 kV, 220 kV	1,10	1,00
400 kV, 750 kV	1,05	1,00

### 2.4.1. Sousedné parametry prvků ve fyzikálních jednotkách

#### Soustava

Souslednou zkratovou impedanci pro nadřazenou soustavu můžeme určit ze vztahu:

$$Z_{(1)} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * I_k''} = \frac{c * U_n^2}{S_k} \quad (2.20)$$

kde:

$c$  – napěťový činitel

$U_n$  – jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

$I_k''$  – počáteční rázový zkratový proud při trojfázovém zkratu

$S_k$  – zkratový výkon soustavy při trojfázovém zkratu [5]

#### Alternátor

Souslednou reaktanci alternátoru určíme jako:

$$X_{(1)} = \frac{x_d'' * U_{nG}^2}{100 * S_{nG}} \quad (2.21)$$

kde:

$x_d''$  – rázová reaktance alternátoru

$U_{nG}$  – jmenovité napětí alternátoru

$S_{nG}$  – jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru [5]

#### Reaktor

Souslednou reaktanci a průchozí výkon reaktoru určíme ze vztahů:

$$Z_{(1)} = \frac{10 * u_R * U_n}{\sqrt{3} * I_n} \quad (2.22)$$

kde:

$u_R$  – impedanční napětí reaktoru

$I_n$  – jmenovitý proud reaktoru

$U_n$  – jmenovité sdružené napětí reaktoru [5]

#### Transformátor

Souslednou impedanci, rezistanci a reaktanci dvouvinutového transformátoru určíme jako:

$$Z_{(1)} = \frac{u_k * U_{nT}^2}{100 * S_{nT}} \quad (2.23)$$

$$R_{(1)} = \frac{P_{knT} * U_{nT}^2}{S_{nT}^2} \quad (2.24)$$

$$X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2} \quad (2.25)$$

kde:

- $u_k$  – jmenovité napětí nakrátko
- $U_{nT}$  – jmenovité napětí transformátoru
- $S_{nT}$  – jmenovitý výkon transformátoru
- $P_{knT}$  – jmenovité ztráty nakrátko [5]

### Vedení

Reaktanci a rezistanci vedení určíme ze vztahů:

$$X_{(1)} = X_k * l * \quad (2.26)$$

$$R_{(1)} = R_k * l \quad (2.27)$$

$$Z_{(1)} = \sqrt{R_{(1)}^2 + X_{(1)}^2} \quad (2.28)$$

kde:

- $X_k$  – reaktance sousledné složky vedení
- $R_k$  – rezistance sousledné složky vedení
- $l$  – délka vedení [5]

### Asynchronní motor

Souslednou reaktanci asynchronního motoru určíme jako:

$$X_{(1)} = \frac{U_{nM}^2}{i_z * S_{nM}} \quad (2.29)$$

kde:

- $i_z$  – poměrný záběrný proud motoru
- $U_{nM}$  – jmenovité napětí motoru
- $S_{nM}$  – jmenovitý zdánlivý výkon motoru [5]

### Přepočet na napěťovou hladinu podle místa zkratu

$$Z_2 = Z_1 * \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \quad (2.30)$$

kde:

- $Z_2$  – impedance přepočtena na napěťovou hladinu  $U_2$  v místě zkratu
- $Z_1$  – impedance na napěťové hladině  $U_1$  [5]

#### 2.4.2. Zpětné parametry prvků

Hodnotu impedance vztaženou k místu zkratu musíme uvažovat pro každý složkový systém. Při výpočtu zpětných parametrů prvků uvažujeme  $Z_{(2)} = Z_{(1)}$ . Podrobněji popsáno v kapitole 2.3.8.

### 2.4.3. Nulové (netočivé) parametry prvků

#### Soustava

Nulovou (netočivou) reaktanci nadřazené soustavy určíme ze vztahu:

$$X_{(0)} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3}} * \left( \frac{3}{I''_{k1}} - \frac{2}{I''_{k3}} \right) \quad (2.31)$$

kde:

$U_n$  – jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

$c$  – napěťový činitel

$I''_{k3}$  – počáteční rázový zkratový proud soustavy při trojfázovém zkratu

$I''_{k1}$  – počáteční rázový zkratový proud soustavy při jednofázovém zkratu [5]

#### Alternátor

$X_{(0)}$  je udáváno výrobcem

#### Reaktor

$$X_{(0)} = X_{(1)}$$

#### Transformátor

$$X_{(0)} = 0,85 * X_{(1)} \text{ pro jádrové transformátory}$$

$$X_{(0)} = X_{(1)} \text{ pro plášťové transformátory [5]}$$

#### Vedení

$$X_{(0)} = (2 \div 5,8) * X_{(1)} \text{ závisí na druhu napětí a vedení [5]}$$

### 3. Popis rozvodny R110/22 kV Valašské Meziříčí

Transformovna 110/22 kV Valašské Meziříčí vlastněná společností ČEZ Distribuce a.s. se skládá z venkovní rozvodny 110 kV a vnitřní rozvodny 22 kV. Vnitřní rozvodna 22 kV umístěna v trojpodlažní budově je napájena ze dvou transformátorů 110/22 kV s označeními T101 a T102.

#### 3.1. Popis stávajícího stavu

- **Rozvodna 110kV**

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o venkovní dvouřadé provedení se dvěma systémy hlavních přípojníc bez přípojnice pomocné. Konstrukce přípojníc a vývodových portálu jsou z železobetonu, portály u transformátorů VVN/VN jsou ocelové příhradové. Rozvodna se skládá z celkem 16 polí. Osm polí je vývodových, 2 pole transformátorů, 1 pole spojky přípojníc a 1 pole měření. Čtyři zbývající pole slouží jako nevybavené rezervy. Pohony spínacích přístrojů jsou elektrické, zhašecím médium u vypínačů je plyn SF6. [10]

- **Rozvodna 22kV**

Jedná se o vnitřní kobkovou rozvodu s celkovým počtem 30 kobek. Dvouřadé provedení se dvěma systémy hlavních přípojníc a jednou přípojnící pomocnou na straně venkovních vývodů. Obě hlavní přípojnice jsou podélně dělené. Část rozvodny slouží pro napájení vývodů pro společnost SŽDC, a.s. V druhém podlaží rozvodny jsou umístěny vypínače, přípojnicové odpojovače, přípojnice, odpojovače na pomocnou přípojnici a PTP. V prvním patře se nachází PTN, vývodové odpojovače a svodiče přepětí. [10]

- **Transformace 110/22 kV**

Pro transformaci využíváme dva transformátory T101 a T102, oba se shodným výkonem 40 MVA. Dále jsou zde nainstalovány zhašecí tlumivky TL21 a TL22 pro zhašení zemních spojení v síti 22 kV. [10]

#### 3.2. Popis a zdůvodnění stavby

Důvodem stavby je stáří, špatný technický stav a s tím související nižší spolehlivost u stávajícího systému chránění. Cílem stavby je tedy výměna nevyhovujících ochranných zařízení a zkvalitnění tohoto systému chránění, a to jak v rozvodně 110 kV, tak 22 kV a u transformátorů 110/22 kV. Je zde využita kombinace digitálních ochranných zařízení Siemens a elektromechanických ochranných zařízení. Oba tyto typy se již pohybují na hraně své životnosti a elektromechanické ochrany jsou nespolehlivé. U elektromechanických ochranných zařízení není k dispozici dálkový dohled, chybí zapisovače a lokátory poruch. Dále chybí logická ochrana rozvodny 22 kV. Stavba nezahrnuje žádné úpravy silové části transformovny. Realizací dosáhneme zvýšení spolehlivosti díky čemuž dojde k snížení nákladů na opravy a údržbu. [10]

#### 3.3. Popis nového stavu

V rámci stavby dojde k demontáži stávajících ochranných zařízení v rozvodnách 110 kV, 22 kV a ochranných zařízení a regulátorů transformátorů. Budou instalovány nové ochrany, terminály a regulátory napětí transformátorů. Automatiky ladění tlumivek budou ponechány původní. V rozvodně 110 kV dojde k demontáži distančních ochranných zařízení, které budou předány k údržbě a následně využity do provozní rezervy



a na náhradní díly. Ostatní ochrany budou zlikvidovány. V rozvodně 22 kV dojde k demontáži a likvidaci elektromechanických ochran. Digitální ochrany se zdemontují a po údržbě budou využity jako rezerva. Ochrany transformátorů budou zlikvidovány. S výměnou systému chránění souvisí i instalace nového řídicího systému SICAM PAS. Ochrany a terminály SIEMENS budou řady SIPROTEC 5. V rozvodně 110 kV budou ochrany umístěny do původních panelů v dozorně, ochrany v rozvodně 22 kV se umístí do stávajících ovládacích skříní. Nahrazeny budou také všechny pomocné přístroje, a to včetně svorkovnic. Součástí stavby je také předrátování příslušných stávajících rozvaděčů, ochran a ovládacích skříní v rozvodně 22 kV. Všechny nové terminály a ochrany budou napájeny napětím 22 V DC. Stejná hodnota napětí je využita pro signalizaci a ovládání. Dále dojde k opravě a realizaci nových protipožárních přepážek. [10]

V Tab. 2 uvedené níže, vidíme seznam 21 polí na straně vn a jejich vybavení ochranami. Tabulka odpovídá stávajícímu stavu. Ochrany jsou kromě typu 7SJ621 a RYo elektromechanické a jak bylo popsáno výše, budou nahrazeny.

Tab. 2. Vybavení polí ochranami (stávající stav)

Pole	Číslo kobky	Napětí vývodu (kV)	Typy ochran			
			Nadproudová	Zkratová	Zemní	OZ
VN25	12	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN104	28	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN213	4	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN221	6	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN228	16	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN229	18	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN234	26	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN240	14	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN242	22	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN251	20	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
VN1915	21	22	7SJ621	7SJ621	7SJ621	7SJ621
VN1916	23	22	7SJ621	7SJ621	7SJ621	7SJ621
Rezerva	19	22	AT31X	A32		
Rezerva	17	22	AT31X	A32		
SŽDC – P1	27	22	7SJ621	7SJ621	7SJ621	
SŽDC – P2	29	22	7SJ621	7SJ621	7SJ621	
SŽDC – PTNS	25	22	7SJ621	7SJ621	7SJ621	
SP1	3	22	AT31X			
SP2	15	22	AT31X			
SPP	24	22	AT31X	A32	RYo	OZ31
HDO	30	22		A32		

## **4. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny R110/22kV**

### **4.1. Všeobecné vlastnosti ochrany Siemens SIPROTEC5 7SJ85**

Siemens SIPROTEC 5 je digitální multifunkční ochrana a řídicí přístroj pole vybavená mikroprocesorem. Mikroprocesor se stará o zpracování všech úkolů ochrany od detekce měřených veličin až po ovládání výkonového vypínače. [8]

#### **4.1.1. Složení přístroje SIPROTEC5 7SJ85**

##### **Analogové vstupy:**

Přístroj SIPROTEC 5 obsahuje proudové a napěťové převodníky, které slouží k transformaci proudu a napětí přivedených z měřicích transformátorů napětí a proudu na velikost, kterou je přístroj schopen zpracovat. Proudové vstupy nalézají své využití při měření fázových a zemních proudů. Napěťové pak slouží pro měření napětí, které se dále využívá pro funkce, kde je nutné pro správné vyhodnocení zpracovat jak napěťové, tak proudové měřené hodnoty. Analogové hodnoty musí být digitalizovány, abychom je mohli dále v mikroprocesoru zpracovat. [8]

##### **Mikroprocesorový systém:**

Mikroprocesorový systém slouží pro zpracování všech funkcí přístroje, mezi které například patří [8]:

- úprava a filtrace měřených veličin,
- trvalá kontrola měřených veličin,
- řízení signálu pro logické funkce,
- rozhodnutí o vypínacích a zapínacích příkazy,
- a další.

##### **Binární vstupy a výstupy:**

Binární vstupy a výstupy slouží přístroji pro získávání informací z rozvodny či jiných přístrojů. Výstupem se pak rozumí především povely pro spínací přístroje či informace pro dálkovou signalizaci. [8]

##### **Prvky čelního panelu:**

Optické ukazatele a zobrazovací pole, které se nacházejí na čelní straně přístroje slouží pro sdělení informací o událostech, funkci přístroje či měřených hodnotách. Integrovaná klávesnice pak slouží pro ovládání přístroje. [8]

##### **Sériová rozhraní:**

Sériové rozhraní se používá pro komunikaci s PC čímž je umožněno ovládání funkcí přístroje. Další rozhraní se používají pro realizaci různých komunikačních protokolů. [8]

##### **Napájecí zdroj:**

Funkční jednotky uvnitř přístroje jsou napájeny vnitřním zdrojem. Pokud dojde ke krátkodobým výpadkům, jsou tyto výpadky překlenuty pomocí kondenzátorů. [8]

## 4.2. Ochranné a automatizační funkce

Digitální multifunkční ochrana SIPROTEC 5 disponuje mnoha funkcemi. Mezi tyto funkce patří například nadproudová ochrana fázová, napětově závislá nadproudová ochrana fázová, směrová nadproudová ochrana fázová, směrová nadproudová ochrana zemní, mžiková zkratová ochrana, ochrana proti nesymetrické zátěži, nadfrekvenční ochrana, podfrekvenční ochrana a další. Dále jsou podrobněji zmíněny pouze ty funkce, které jsou použity při návrhu, který je součástí této práce. [8]

- **Nadproudová ochrana**

Nadproudová ochrana slouží k detekci zkratů na elektrickém zařízení. Třífázová nadproudová ochrana pak disponuje dvěma druhy funkcí. Základní a rozšířenou pro standartní nebo komplexní aplikace. Oba tyto funkční typy disponují od výroby konfigurací se dvěma nezávislými a jedním závislým stupněm nadproudové ochrany. Na obou funkčních typech se pak mohou současně provozovat maximálně čtyři stupně nadproudové ochrany, jeden stupeň závislé nadproudové ochrany a u rozšířené verze navíc s jedním stupněm uživatelsky definované charakteristiky nadproudové ochrany.

Měřicí metodu můžeme pro oba funkční typy vybrat ze dvou možností. První možnost je měření základní harmonické. Tato metoda zpracovává vzorky proudu a napětí a filtruje základní harmonickou. Druhá metoda je měření efektivní hodnoty. Proudová amplituda je zjišťována ze vzorků dle definice efektivní hodnoty. U druhé metody jsou zahrnuty i vyšší harmonické.

Mezi další možnosti nastavení patří například blokování stupně, blokování času zpoždění či blokování vypínacího času a vypínacího signálu pro detekci zapínacího proudu. U rozšířeného stupně je pak možné nastavit zpoždění návratu.

Pokud jsou v přístroji k dispozici funkce automatické opětné zapnutí, detekce zapnutí ze studeného stavu či binární vstupní signál, mohou tyto funkce ovlivnit stupně nadproudové ochrany. Ovlivněny mohou být například náběhové hodnoty, vypínací časy či mohou být stupně blokovány. [8]

- **Směrová nadproudová ochrana**

Směrová nadproudová ochrana nalezne své využití při ochraně elektrických zařízení proti zemním zkratům, dále zajišťuje selektivní detekci poruchy u jednostranně napájených paralelních vedení nebo transformátorů a zajišťuje selektivní detekci poruchy u oboustranně napájených konců vedení nebo u kruhově zapojených vedení. Stejně jako u výše popsané nadproudové ochrany zde máme 2 typy funkcí, a to základní a rozšířenou se stejnými možnostmi konfigurace.

Směr je určován na úrovni funkce a má stejné účinky na všechny stupně. Každý stupeň funkce dostává tedy stejný výsledek o směru. Aby bylo možné správně určit směr také při blízkých jedno nebo dvoupólových zkratech při zhroucení napětí, používá směrový měřicí člen jak zkratový proud postižené fáze, tak zkratem nepostižené sdružené napětí jako referenční. Směr je určován na základě fázového úhlu mezi zkratovým proudem a referenčním napětím.

Stejně jako výše popsaná nadproudová ochrana má i směrová nadproudová ochrana různé možnosti nastavení. Je zde opět možnost zvolení měřicí metody, blokování stupně, zpoždění návratu u rozšířeného stupně a další. Dále je zde možnost určení směru, tedy zda má ochrana pracovat ve směru vpřed nebo vzad. Nesměrový náběh s napětovou pamětí zase zajišťuje správné určení směru v případě 3pólového

blízkého zkratu, kdy dochází k poklesu napětí ve všech třech fázích na skoro nulovou hodnotu. Určení směru se pak provádí z napět'ové paměti. Pokud by v napět'ové paměti nebylo použitelné napětí můžeme dále určit chování stupně. [8]

- **Citlivá detekce zemních spojení**

Pro detekci zemních spojení můžeme využít dvou funkcí. V prvním případě se jedná o směrovou citlivou detekci zemních spojení. Ta slouží pro směrovou detekci zemních spojení trvalého charakteru v izolovaných nebo zhasených sítích, dále pro směrovou detekci zemních spojení přechodného charakteru (rychle zhasínajících) v izolovaných nebo zhasených sítích, pro určení fáze postižené poruchou a pro detekci vysokoohmových zkratů v sítích zemněných efektivně (tvrdě) nebo nízkoohmově (odporově). V druhém případě se jedná o citlivou zemní ochranu, která slouží k detekci zemních spojení v izolovaných nebo zhasených sítích a pro detekci vysokoohmových zkratů v sítích zemněných efektivně (tvrdě) nebo nízkoohmově (odporově).

Směrová citlivá detekce zemních spojení se používá v aplikacích, kde má ochrana k dispozici nulovou složku proudu a napětí. Z výroby je zde konfigurace s jedním stupněm  $U_0>$ , jedním směrových stupněm  $3I_0>$  s měřením  $\cos\varphi$  nebo  $\sin\varphi$  a s jedním stupněm pro přechodné zemní poruchy. Uvnitř samotné funkce je možnost provozovat více stupňů současně. Jedná se o 2 stupně  $U_0>$ , 4 směrové stupně  $3I_0>$  s měřením  $\cos\varphi$  nebo  $\sin\varphi$ , 2 směrové stupně přechodných zemních poruch, 4 směrové stupně  $3I_0>$  s měřením  $\varphi$  ( $U_0$ ,  $3I_0$ ), 4 směrové stupně  $Y_0>$  s měřením  $G_0$  nebo  $B_0$  (admitanční metoda) a 4 směrové stupně  $3I_0>$ .

Citlivá zemní ochrana se používá v aplikacích, kde má ochrana k dispozici pouze nulovou složku proudu  $3I_0$ . Z výroby tato funkce disponuje konfigurací s nesměrovým stupněm  $3I_0>$ . Uvnitř funkce je pak možnost provozovat současně až 4 nesměrové stupně  $3I_0>$ .

Každý výše uvedený stupeň má možnost individuálního nastavení z hlediska měřené hodnoty a měřicí metody, náběhu a návratu či blokování stupně atd.

Citlivá detekce zemního spojení je pak vybavena například detekcí zhasínající poruchy. Při zhasínající poruše dochází ke klesání nulového napětí. Pokles je závislý na podmínkách v síti a může trvat několik stovek milisekund. V takovémto případě je tedy možné blokovat působení ochrany a tím při citlivém nastavení stupně zabránit nadbytečné funkci. Dále je zde možnost kompenzace úhlové chyby způsobené vysokým podílem jalového proudu v síti a vzduchovou mezerou průvlekového transformátoru. Také je zde možnost stabilizace proti spínacím dějům, které mohou vést k přechodným signálům v nulových složkách a další. [8]

- **Frekvenční ochrana**

Frekvenční ochranu můžeme rozdělit na nadfrekvenční a podfrekvenční.

V důsledku nerovnováhy mezi vyrobeným a spotřebovaným činným výkonem dochází v síti k odchylkám frekvence. Pokud dojde k zvýšení spotřeby činného výkonu nebo snížení vyráběného výkonu zapříčiněné například výpadkem generátoru vzniká podfrekvence. Pokud naopak dojde k odlehčení zátěže může dojít k nadfrekvenci, která je nebezpečná například z pohledu samobuzení strojů pracujících do dlouhých zapnutých vedení naprázdno.

Podfrekvenční ochrana slouží pro detekci podfrekvence v síti nebo u elektrických strojů, odděluje síť, monitoruje frekvenční rozsah a vydává alarmové informace, při kritické síťové frekvenci odděluje elektrárenské bloky a odlehčuje zátěž pro zabezpečení stability sítě. Podle měřicí metody si můžeme zvolit ze dvou funkčních konfigurací. První měřicí metoda je metoda rozdílů úhlů používaná především pro chránění strojů. U vícefázových systému se určuje vektor sousledné složky, u jednofázových se zpracovává vektor připojeného napětí. Druhou metodou je metoda filtrování, která se používá především v oblasti sítí. Tato metoda zpracovává okamžité hodnoty napětí a pomocí vhodné kombinace filtrů určuje aktuální frekvenci. Obě měřicí metody jsou velmi přesné a rušivé vlivy, jako například vyšší harmonické jsou potlačeny.

V tabulce uvedené níže je příklad aplikace podfrekvenční ochrany, konkrétně její nasazení pro odlehčení zátěže. Jedná se o šestistupňový frekvenční plán pro distribuční síť. Takovýto plán má za cíl včasnými zásahy do provozu omezit vznik velkých systémových poruch a vytvořit podmínky pro rychlý návrat kmitočtu do rozmezí 49,8-50,2 Hz. Tyto hodnoty kmitočtu jsou z hlediska provozu elektrizační soustavy považovány za normální. Stupeň číslo 4 se týká pouze společnosti Pražská energetika a.s. [8]

Tab. 3. Plán stupňů

Stupeň	Frekvence (Hz)
1	49,0
2	48,7
3	48,4
4	48,3
5	48,1
6	48,0

Nadfrekvenční ochrana slouží pro detekci nadfrekvence v síti nebo u elektrických strojů, provádí monitorování frekvenčního rozsahu a vydává alarmové informace, chrání turbíny při selhání omezovače otáček a odděluje elektrárenské bloky při kritické síťové frekvenci. Stejně jako u podfrekvenční ochrany je možné si vybrat z dvou funkčních konfigurací podle měřicí metody, je možné nastavit blokování stupně například při poklesu pod minimální napětí a další. [8]

- **Automatika opětného zapnutí**

Automatika opětného zapnutí slouží k řešení poruch přechodného charakteru. Je používána pouze u venkovních vedení, protože u kabelových vedení jsou poruchy trvalého rázu. Může tedy například zapínat venkovní vedení po obloukových zkratech. Ovládání může být řešeno integrovanou ochrannou funkcí a nebo vnější ochranou. Na obrázku níže můžeme vidět časový průběh dvojnásobného OZ s úspěšným druhým pokusem.



Obr. 18. Časový průběh dvojnásobného OZ [8]

Automatika opětného zapnutí disponuje třemi typy funkcí a centrálním řízením funkce. První funkce je cyklická automatika OZ. Ta dovoluje až 8 pokusů o opětné zapnutí, přičemž každý cyklus může pracovat s odlišným nastavením. Od výroby je přednastaven pouze první cyklus, který nelze vymazat. Druhou funkcí je automatika OZ s adaptivní beznapětovou pauzou. Automatika se v tomto režimu sama rozhoduje, jestli je opětné zapnutí smysluplné a dovolené. Jako kritérium se zde využívá fázové napětí, které se objeví na protějším konci vedení po OZ. Pokud je tedy vedení z protějšho konce uvedeno pod napětí, automatika provede zapnutí. Třetí funkcí je provoz s vnější automatikou OZ. Tato vnější automatika spolupracuje s ochranou SPIROTEC 5 a má k dispozici binární vstupy pro ovlivnění ochrany SPIROTEC.

Vhodným nastavením můžeme automatiku opětného zapnutí ovlivňovat ochrannými funkcemi. Ochranná funkce může být například nakonfigurována tak, aby její informace o vypnutí blokovala OZ. Pokud by již byla automatika spuštěna, blokování vyvolá přerušení OZ. Vhodným nastavením může naopak automatika OZ ovlivňovat způsob činnosti ochranných funkcí. Pomocí signálů poskytovaných automatikou OZ může dojít k blokování nebo uvolňování speciálních stupňů a zón. Tyto možnosti spolupráce mohou být nastaveny nezávisle pro každou vnitřní ochrannou funkci spolupracující s automatikou OZ. [8]

## 5. Určení zkratových poměrů

Parametry ze strany napěťové hladiny 110 kV byly určeny pomocí programu PAS DAISY Bizon.

Tab. 4. Zkratové poměry na straně napětí 110 kV

napětí (kV)	$S_{ks3}$	$I_{ks3}$	$S_{ks1}$	$I_{ks1}$
110	(MVA)	(kA)	(MVA)	(kA)
max	1198,30	6,29	1053,80	5,53
min	590,10	3,10	602,80	3,16

Tab. 5. Parametry transformátorů T101 a T102

	T101	T102
$S_{nT}$ (MVA)	50	50
$U_{n1T}$ (kV)	110,0	110,0
$U_{n2T}$ (kV)	23,0	23,0
$u_k$	13,5	11,34

### 5.1. Výpočet reaktancí, zkratových proudů a výkonů pro rozvodnu vn

Převodní poměr:

$$p_p = \frac{U_{1nT}}{U_{2nT}} * \frac{U_{v2}}{U_{v1}} = \frac{110}{23} * \frac{23}{115} = 0,9565$$

Maximální a minimální reaktance soustavy ze strany 110 kV:

$$X_{smax(110)} = \frac{c * U_{n110}^2}{S_{k3min}''} = \frac{1 * 110^2}{590,1} = 20,505 \Omega$$

$$X_{smin(110)} = \frac{c * U_{n110}^2}{S_{k3max}''} = \frac{1,1 * 110^2}{1198,3} = 11,1074 \Omega$$

Maximální a minimální reaktance soustavy ze strany 22 kV:

$$X_{smax(22)} = X_{smax(110)} * \left( \frac{U_{n2T}}{U_{n1T} * p_p} \right)^2 = 20,505 * \left( \frac{23}{110 * 0,9565} \right)^2 = 0,9798 \Omega$$

$$X_{smin(22)} = X_{smin(110)} * \left( \frac{U_{n2T}}{U_{n1T} * p_p} \right)^2 = 11,1074 * \left( \frac{23}{110 * 0,9565} \right)^2 = 0,5308 \Omega$$

#### 5.1.1. Výpočet ze strany transformátoru T101

Reaktance transformátoru T101:

$$X_{T101} = \frac{u_{kT101} * U_{nT}^2}{100 * S_{nT101}} = \frac{13,5 * 23^2}{100 * 50} = 1,4283 \Omega$$

Výsledná maximální a minimální reaktance soustavy 22 kV a transformátoru T101:

$$X_{Vmax} = X_{T101} + X_{smax(22)} = 1,4283 + 0,9798 = 2,4081 \Omega$$

$$X_{Vmin} = X_{T101} + X_{smin(22)} = 1,4283 + 0,5308 = 1,9591 \Omega$$

Maximální a minimální 3F zkratový proud:

$$I''_{kmax} = \frac{c * U_{v2}}{\sqrt{3} * X_{Vmin}} = \frac{1,1 * 23}{\sqrt{3} * 1,9591} = 7,46 \text{ kA}$$

$$I''_{kmin} = \frac{c * U_{v2}}{\sqrt{3} * X_{Vmax}} = \frac{1 * 23}{\sqrt{3} * 2,4081} = 5,51 \text{ kA}$$

Maximální a minimální zkratový výkon:

$$S''_{kmax} = \sqrt{3} * U_{v2} * I''_{kmax} = \sqrt{3} * 23 * 7,46 = 297,03 \text{ MVA}$$

$$S''_{kmin} = \sqrt{3} * U_{v2} * I''_{kmin} = \sqrt{3} * 23 * 5,51 = 219,67 \text{ MVA}$$

Maximální a minimální zkratová reaktance:

$$X''_{kmax} = \frac{c * S''_{kmin}}{3 * I''_{kmin}{}^2} = \frac{1 * 219,67}{3 * 5,51^2} = 2,408 \Omega$$

$$X''_{kmin} = \frac{c * S''_{kmax}}{3 * I''_{kmax}{}^2} = \frac{1,1 * 297,03}{3 * 7,46^2} = 1,959 \Omega$$

### 5.1.2. Výpočet ze strany transformátoru T102

Reaktance transformátoru T102:

$$X_{T102} = \frac{u_{kT102} * U_{nT}{}^2}{100 * S_{nT102}} = \frac{11,34 * 23^2}{100 * 50} = 1,1998 \Omega$$

Výsledná maximální a minimální reaktance soustavy 22kV a transformátoru T102:

$$X_{Vmax} = X_{T102} + X_{smax(22)} = 1,1998 + 0,9798 = 2,1796 \Omega$$

$$X_{Vmin} = X_{T101} + X_{smin(22)} = 1,1998 + 0,5308 = 1,7306 \Omega$$

Maximální a minimální 3F zkratový proud:

$$I''_{kmax} = \frac{c * U_{v2}}{\sqrt{3} * X_{Vmin}} = \frac{1,1 * 23}{\sqrt{3} * 1,7306} = 8,44 \text{ kA}$$

$$I''_{kmin} = \frac{c * U_{v2}}{\sqrt{3} * X_{Vmax}} = \frac{1 * 23}{\sqrt{3} * 2,1796} = 6,09 \text{ kA}$$

Maximální a minimální zkratový výkon:

$$S''_{kmax} = \sqrt{3} * U_{v2} * I''_{kmax} = \sqrt{3} * 23 * 8,44 = 336,26 \text{ MVA}$$



$$S''_{kmin} = \sqrt{3} * U_{v2} * I''_{kmin} = \sqrt{3} * 23 * 6,09 = 242,71 \text{ MVA}$$

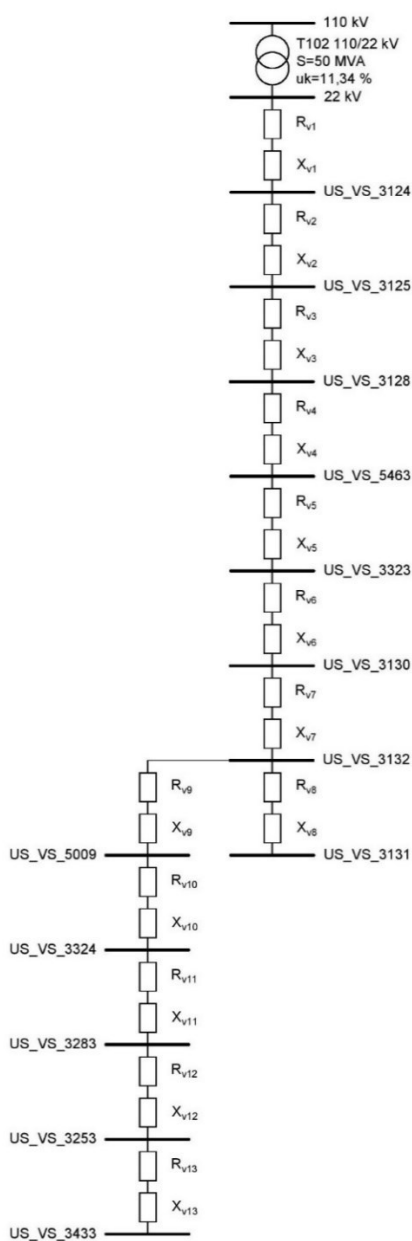
Maximální a minimální zkratová reaktance:

$$X''_{kmax} = \frac{c * S''_{kmin}}{3 * I''_{kmin}{}^2} = \frac{1 * 242,71}{3 * 6,09^2} = 2,180 \Omega$$

$$X''_{kmin} = \frac{c * S''_{kmax}}{3 * I''_{kmax}{}^2} = \frac{1,1 * 336,26}{3 * 8,44^2} = 1,731 \Omega$$

## 5.2. Příklad výpočtu pro vedení VN25

Náhradní schéma:



Obr. 19. Náhradní schéma pro výpočet vedení VN25

Výpočet činného odporu vedení:

$$\begin{aligned}
 R_{v1} &= R_{k1} * l = 0,266 * \frac{756}{1000} = 0,201 \, \Omega \\
 R_{v2} &= R_{k2} * l = 0,234 * \frac{152}{1000} = 0,036 \, \Omega \\
 R_{v3} &= R_{k3} * l = 0,234 * \frac{1914}{1000} = 0,448 \, \Omega \\
 R_{v4} &= R_{k4} * l = 0,234 * \frac{1796}{1000} = 0,420 \, \Omega \\
 R_{v5} &= R_{k5} * l = 0,234 * \frac{3145}{1000} = 0,736 \, \Omega \\
 R_{v6} &= R_{k6} * l = 0,234 * \frac{1542}{1000} = 0,361 \, \Omega \\
 R_{v7} &= R_{k7} * l = 0,234 * \frac{1554}{1000} = 0,364 \, \Omega \\
 R_{v8} &= R_{k8} * l = 0,234 * \frac{1446}{1000} = 0,338 \, \Omega \\
 R_{v9} &= R_{k9} * l = 0,696 * \frac{3371}{1000} = 2,346 \, \Omega \\
 R_{v10} &= R_{k10} * l = 0,319 * \frac{1424}{1000} = 0,454 \, \Omega \\
 R_{v11} &= R_{k11} * l = 0,696 * \frac{1729}{1000} = 1,203 \, \Omega \\
 R_{v12} &= R_{k12} * l = 0,206 * \frac{3219}{1000} = 0,663 \, \Omega \\
 R_{v13} &= R_{k13} * l = 0,206 * \frac{2050}{1000} = 0,422 \, \Omega
 \end{aligned}$$

Výpočet reaktance vedení:

$$\begin{aligned}
 X_{v1} &= X_{k1} * l = 0,361 * \frac{756}{1000} = 0,273 \, \Omega \\
 X_{v2} &= X_{k2} * l = 0,356 * \frac{152}{1000} = 0,054 \, \Omega \\
 X_{v3} &= X_{k3} * l = 0,356 * \frac{1914}{1000} = 0,681 \, \Omega \\
 X_{v4} &= X_{k4} * l = 0,356 * \frac{1796}{1000} = 0,639 \, \Omega \\
 X_{v5} &= X_{k5} * l = 0,356 * \frac{3145}{1000} = 1,120 \, \Omega \\
 X_{v6} &= X_{k6} * l = 0,356 * \frac{1542}{1000} = 0,549 \, \Omega \\
 X_{v7} &= X_{k7} * l = 0,356 * \frac{1554}{1000} = 0,553 \, \Omega \\
 X_{v8} &= X_{k8} * l = 0,356 * \frac{1446}{1000} = 0,515 \, \Omega \\
 X_{v9} &= X_{k9} * l = 0,389 * \frac{3371}{1000} = 1,311 \, \Omega
 \end{aligned}$$

$$X_{v10} = X_{k10} * l = 0,389 * \frac{1424}{1000} = 0,554 \Omega$$

$$X_{v11} = X_{k11} * l = 0,389 * \frac{1729}{1000} = 0,673 \Omega$$

$$X_{v12} = X_{k12} * l = 0,378 * \frac{3219}{1000} = 1,217 \Omega$$

$$X_{v13} = X_{k13} * l = 0,378 * \frac{2050}{1000} = 0,775 \Omega$$

### 5.2.1. Výpočet zkratových poměrů pro první úsek vedení (US\_VS\_3124)

Určení celkového činného odporu pro první úsek vedení VN25 (US\_VS\_3124):

$$R_{v1} = 0,201 \Omega$$

Určení celkové reaktance pro první úsek vedení VN25 (US\_VS\_3124):

$$X_{v1} = 0,273 \Omega$$

**Výsledný maximální zkratový proud:**

$$I''_{k3max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X''_{kmin} + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23}{\sqrt{3} * \sqrt{0,201^2 + (1,731 + 0,273)^2}} = 7,25 \text{ kA}$$

**Výsledný minimální zkratový proud:**

$$I''_{k2min} = \frac{c * U_n}{2 * \sqrt{R_{v1}^2 + (X''_{kmax} + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23}{2 * \sqrt{0,201^2 + (2,408 + 0,273)^2}} = 4,28 \text{ kA}$$

**Maximální čas vypnutí s ohledem na oteplení vodičů při zkratu:**

$$t_{vyp} = \left( \frac{S * K}{I''_{k3max} * k_e} \right)^2 = \left( \frac{110 * 107}{8441 * 1,02} \right)^2 = 1,87 \text{ s}$$

### 5.2.2. Výpočet zkratových poměrů pro konec vedení (US\_VS\_3131)

Určení celkového činného odporu pro konec vedení VN25 (US\_VS\_3131):

$$\begin{aligned} R_{v1-8} &= R_{v1} + R_{v2} + R_{v3} + R_{v4} + R_{v5} + R_{v6} + R_{v7} + R_{v8} \\ &= 0,201 + 0,036 + 0,448 + 0,420 + 0,736 + 0,361 + 0,364 + 0,338 = 2,904 \Omega \end{aligned}$$

Určení celkové reaktance pro konec vedení VN25 (US\_VS\_3131):

$$\begin{aligned} X_{v1-8} &= X_{v1} + X_{v2} + X_{v3} + X_{v4} + X_{v5} + X_{v6} + X_{v7} + X_{v8} \\ &= 0,273 + 0,054 + 0,681 + 0,639 + 1,120 + 0,549 + 0,553 + 0,515 = 4,384 \Omega \end{aligned}$$

**Výsledný maximální zkratový proud:**

$$I''_{k3max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1-8}^2 + (X''_{kmin} + X_{v1-8})^2}} = \frac{1,1 * 23}{\sqrt{3} * \sqrt{2,904^2 + (1,731 + 4,384)^2}} = 2,16 \text{ kA}$$

**Výsledný minimální zkratový proud:**

$$I''_{k2min} = \frac{c * U_n}{2 * \sqrt{R_{v1-8}^2 + (X''_{kmax} + X_{v1-8})^2}} = \frac{1 * 23}{2 * \sqrt{2,904^2 + (2,408 + 4,384)^2}} = 1,56 \text{ kA}$$

**Maximální čas vypnutí s ohledem na oteplení vodičů při zkratu:**

$$t_{vyp} = \left( \frac{S * K}{I''_{k3max} * k_e} \right)^2 = \left( \frac{120 * 107}{2371 * 1,02} \right)^2 = 28,18 \text{ s}$$

### 5.2.3. Výpočet zkratových poměrů pro konec odbočky vedení (US\_VS\_3433)

Určení celkového činného odporu pro konec odbočky vedení VN25 (US\_VS\_3433):

$$\begin{aligned} R_{vUS\_VS\_3433} &= R_{v1-7} + R_{v9} + R_{v10} + R_{v11} + R_{v12} + R_{v13} \\ &= 2,566 + 2,346 + 0,454 + 1,203 + 0,663 + 0,422 = 7,654 \Omega \end{aligned}$$

Určení celkové reaktance pro konec odbočky vedení VN25 (US\_VS\_3433):

$$\begin{aligned} X_{vUS\_VS\_3433} &= X_{v1-7} + X_{v9} + X_{v10} + X_{v11} + X_{v12} + X_{v13} \\ &= 3,869 + 1,311 + 0,554 + 0,673 + 1,217 + 0,775 = 8,399 \Omega \end{aligned}$$

**Výsledný maximální zkratový proud:**

$$\begin{aligned} I''_{k3max} &= \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{vUS\_VS\_3433}^2 + (X''_{kmin} + X_{vUS\_VS\_3433})^2}} = \frac{1,1 * 23}{\sqrt{3} * \sqrt{7,654^2 + (1,731 + 8,399)^2}} \\ &= 1,15 \text{ kA} \end{aligned}$$

**Výsledný minimální zkratový proud:**

$$\begin{aligned} I''_{k2min} &= \frac{c * U_n}{2 * \sqrt{R_{vUS\_VS\_3433}^2 + (X''_{kmax} + X_{vUS\_VS\_3433})^2}} = \frac{1 * 23}{2 * \sqrt{7,654^2 + (2,408 + 8,399)^2}} \\ &= 0,87 \text{ kA} \end{aligned}$$

**Maximální čas vypnutí s ohledem na oteplení vodičů při zkratu:**

$$t_{vyp} = \left( \frac{S * K}{I''_{k3max} * k_e} \right)^2 = \left( \frac{70 * 107}{1235 * 1,02} \right)^2 = 35,33 \text{ s}$$

### 5.3. Zadané hodnoty pro výpočet

Tab. 6. Zadané hodnoty – Vedení VN25

Vedení VN 25		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	US_VS_3125	756	110	AlFe 110/22	318	107	0,266	0,361
		152	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_3125	US_VS_3128	1914	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_3128	VS_5463	1796	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_5463	US_VS_3323	3145	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_3323	US_VS_3130	1542	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_3130	US_VS_3132	1554	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_3132	US_VS_3131	1446	120	AlFe	357	107	0,234	0,356

Tab. 7. Zadané hodnoty – Vedení VN25 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3132	US_VS_5009	3371	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
US_VS_5009	US_VS_3324	1424	50	AlFe	177	107	0,319	0,389
US_VS_3324	US_VS_3283	1729	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
US_VS_3283	US_VS_3253	3219	70	AlFe70/11	236	107	0,206	0,378
US_VS_3253	US_VS_3433	2050	70	AlFe70/11	236	107	0,206	0,378

Tab. 8. Zadané hodnoty – Vedení VN104

Vedení VN 104		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	US_VS_3059	2969	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
		807	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
		108	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3059	US_VS_3061	628	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3061	VS_5494	139	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
VS_5494	US_VS_3066	267	120	ADX_K	318	107	0,328	0,328
		322	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3066	US_VS_3069	939	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3069	US_VS_3071	480	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3071	VS_9371 (FVE 4 MW)	520	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
		563	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
VS_9371	US_VS_3437	1946	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3437	US_VS_3074	976	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3074	US_VS_3307	513	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3307	US_VS_3309 (VN1201 RZNV)	432	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3309	US_VS_3080	591	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3080	US_VS_3079	811	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3079	VS_RZNV	160	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
		470	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088

Tab. 9. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3069	US_VS_3069	229	70	PAS	210	94	0,443	0,138
US_VS_3069	US_VS_3463	1477	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
US_VS_3463	US_VS_3351	1228	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
US_VS_3351	VS_5565	116	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5565	US_VS_3274	653	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,389
US_VS_3274	VS_5682	47	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5682	VS_5688	1422	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,389

Tab. 10. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 2. odbočka

2. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3071	US_VS_3010	1960	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
US_VS_3010	VS_5702	529	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5702	US_VS_3064	854	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
US_VS_3064	VS_5703	266	70	2xAXEKVCEY	462	93	0,221	0,069
		277	50	AlFe	177	107	0,696	0,389

Tab. 11. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 3. odbočka

3. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3309	VS_5426	1169	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
VS_5426	US_VS_3076	1406	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
US_VS_3076	US_VS_3304	1868	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
US_VS_3304	US_VS_3078	757	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
US_VS_3078	US_VS_3423	1532	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
US_VS_3423	VS_5409	1534	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
		86	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,389
VS_5409	VS_5406	74	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5406	US_VS_3113	387	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
US_VS_3113	VS_0103	732	70	AXEKVCEY	210	93	0,443	0,138

Tab. 12. Zadané hodnoty – Vedení VN104 – 4. odbočka

4. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3080	VS_5446	646	70	AlFe	236	107	0,433	0,378
VS_5446	US_VS_3081	394	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
US_VS_3081	US_VS_3082	1490	70	AlFe	236	107	0,433	0,378
US_VS_3082	VS_5434	250	70	AlFe70	236	107	0,433	0,378
VS_5434	US_VS_3372	401	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
US_VS_3372	VS_5435	528	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5435	VS_5451	1008	50	AlFe	177	107	0,696	0,389

Tab. 13. Zadané hodnoty – Vedení VN213

Vedení VN 213		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VM_VMEZ	VS_9217	1483	150	AlFe	387	107	0,200	0,350
VS_9217	US_VS_3354	99	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3354	US_VS_3135	2058	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3135	US_VS_3297	881	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3297	US_VS_3328	455	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3328	US_VS_3329	159	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
		865	120	AlFe	357	107	0,234	0,361

Tab. 14. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3354	VS_9191	249	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
VS_9191	VS_9190	137	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_9190	US_VS_9350	93	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
US_VS_9350	VS_9350	333	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126

Tab. 15. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 2. odbočka

2. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3135	VS_9007	754	70	AlFe70/11	236	107	0,474	0,378
VS_9007	VS_5499	1188	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
		576	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
VS_5499	US_VS_3433	1309	70	AlFe70/11	236	107	0,474	0,378

Tab. 16. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 3. odbočka

3. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3297	VS_5554	203	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
VS_5554	VS_5547	462	240	AXEKVCEY	417	107	0,125	0,113
VS_5547	VS_nová	685	240	AXEKVCEY	417	107	0,125	0,113
VS_nová	VS_6540	163	240	AXEKVCEY	417	107	0,125	0,113
VS_6540	US_VS_3370	668	240	AXEKVCEY	417	107	0,125	0,113

Tab. 17. Zadané hodnoty – Vedení VN213 – 4. odbočka

4. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3328	VS_5710	462	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
		302	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
		119	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
		726	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_5710	US_VS_3138	628	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
US_VS_3138	VS_5581	1123	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
VS_5581	VS_5582	818	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392

Tab. 18. Zadané hodnoty – Vedení VN221

Vedení VN 221		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VM_VMEZ	VM_9217	1672	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
VM_9217	US_VS_3298	3201	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3298	US_VS_3141	614	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
		1040	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3141	US_VS_3358	154	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
US_VS_3358	PR_9075	2606	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
PR_9075	PR_9265	3413	120	AlFe	357	107	0,234	0,361

Tab. 19. Zadané hodnoty – Vedení VN221 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3298	VS_9095 (vn213)	1554	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tab. 20. Zadané hodnoty – Vedení VN228

Vedení VN 228		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	US_VS_3110	2882	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3110	VS_5502	576	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
VS_5502	US_VS_3112	1204	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3112	US_VS_3113	1136	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3113	US_VS_3310	1564	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3310	US_VS_3116	1076	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3116	US_VS_3115	96	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3115	US_VS_3152 (VN1212 VSTN)	2453	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3152	US_VS_3375	2284	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3375	US_VS_6439	1628	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_6439	VS_9291	1926	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
VS_9291	VS_VSTN	1134	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366

Tab. 21. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3310	VS_5483	549	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_5483	US_VS_3122	1090	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
		676	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
US_VS_3122	US_VS_3118	2056	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
US_VS_3118	VS_5475	477	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_5475	VS_9001	130	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
VS_9001	VS_5477	99	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5477	US_VS_3107	1459	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
US_VS_3107	US_VS_3120	425	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
US_VS_3120	VS_5683	1143	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_5683	VS_9170	1795	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378



VS_9170	US_VS_3304	178	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		250	95	AXEKVCEY	251	93	0,320	0,132
		325	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126

Tab. 22. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 1-1. odbočka

1-1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3122	VS_5614	2127	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
VS_5614	US_VS_3123	1410	70	AlFe	225	107	0,432	0,378

Tab. 23. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 2. odbočka

2. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3116	VS_5577	3427	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_5577	VS_5579	1142	70	AlFe	225	107	0,432	0,378
VS_5579	VS_5578	631	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392

Tab. 24. Zadané hodnoty – Vedení VN228 – 3. odbočka

3. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3152	US_VS_3151	206	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
US_VS_3151	VS_4838	825	66	AlFe-AL1/11-ST1A		107	0,433	0,378
VS_4838	VS_9053 (Zbrojovka)	40	66	AlFe-AL1/11-ST1A		107	0,433	0,378
		707	70	AlFe	225	107	0,432	0,378

Tab. 25. Zadané hodnoty – Vedení VN229

Vedení VN 229		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	US_VS_3111	2623	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_VS_3111	VS_9063	318	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
VS_9063	VS_9239	558	50	AlFe	177	107	0,696	0,389

Tab. 26. Zadané hodnoty – Vedení VN234

Vedení VN 234		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
R VS_VMEZ	US_VS_3083	1140	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_3083	US_VS_3384	254	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_3384	US_VS_3084	237	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_3084	US_VS_3085	350	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_3085	US_VS_3086	810	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_3086	US_VS_3087	193	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_3087	US_VS_3336	425	150	AlFe	387	107	0,200	0,350
US_VS_3336	US_VS_3088	574	150	AlFe	387	107	0,200	0,350

Tab. 27. Zadané hodnoty – Vedení VN240

Vedení VN 240		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>Dov</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	US_VS_3142	262	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
		8	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_VS_3142	VS_9219	65	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
VS_9219	VS_9212	222	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_9212	VS_9199	533	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
VS_9199	VS_9202	287	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
VS_9202	US_VS_3312	161	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3312	VS_9320	67	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_9320	VS_9337	583	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_9337	VS_5664	253	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_5664	VS_6527	250	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		633	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_6527	VS_5639	628	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		333	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5639	VS_0049	90	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_004	VS_5678	86	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
		688	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_567	VS_5627	317	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5627	VS_5631	398	120	HATPS	266	71	0,299	0,101
VS_5631	VS_5656	539	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5656	VS_5638	282	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		156	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_5638	VS_6538	229	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_6538	VS_9225	192	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		130	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		33	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_9225	US_VS_3379	33	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		294	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097

Tab. 28. Zadané hodnoty – Vedení VN240 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>Dov</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_5627	VS_5637	233	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5637	VS_5662	313	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5662	VS_5640	206	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		382	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
		221	120	HATPS	266	71	0,299	0,101
VS_5640	VS_9216	127	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		98	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		234	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_9216	VS_6518	60	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		37	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_6518	VS_9214	38	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		173	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		258	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_921	VS_5634	161	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126

		144	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		288	120	HATPS	266	71	0,299	0,101
VS_5634	VS_6539	220	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
VS_6539	VS_5633	66	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
VS_5633	VS_5660	180	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
VS_5660	US_VS_3084	48	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
		6	70	AlFe	236	93	0,319	0,378

Tab. 29. Zadané hodnoty – Vedení VN1208

Vedení VN 1208		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	US_VS_62	2533	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_62	VS_6414	2898	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
VS_6414	VS_9188	221	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
VS_9188	US_VS_9220	246	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
US_VS_9220	US_VS_3373	332	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3373	US_VS_3366	540	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
		264	120	ADX_K	430	107	0,228	0,308
		480	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3366	VS_9334 (VN251 RZNV)	1842	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
VS_9334	VS_9370 (FVE 5,3 MW)	506	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
VS_9370	US_VS_3103	1020	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3103	VS_9342	2496	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
VS_9342	US_VS_3102	59	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
		1710	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_VS_3102	VS_RZNV	153	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
		471	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088

Tab. 30. Zadané hodnoty – Vedení VN1208 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_62	VS_0062	178	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119

Tab. 31. Zadané hodnoty – Vedení VN1208 – 2. odbočka

2. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_9220	VS_0051	689	120	AlFe	357	107	0,234	0,361
		128	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
		10	120	PAS	430	107	0,228	0,308
		89	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		99	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126

Tab. 32. Zadané hodnoty – Vedení VN1208 – 3. odbočka

3. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_9342	VS_9342	593	70	AlFe	225	107	0,432	0,378

Tab. 33. Zadané hodnoty – Vedení VN242

Vedení VN 242		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	VS_5625	1238	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
VS_5625	US_FM_3095	519	95	AlFe	284	107	0,319	0,375
		48	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_FM_3095	US_VS_61	737	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_61	US_VS_3330	246	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_3330	US_VS_3024	81	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_3024	US_VS_3091	567	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_3091	US_VS_3090	73	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_3090	US_VS_3300	760	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_3300	US_VS_3089	253	150	AlFe	387	107	0,200	0,361
US_VS_3089	US_VS_3088	136	150	AlFe	387	107	0,200	0,361

Tab. 34. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_61	US_VS_3362	103	66	AL1/11-ST1A	236	107	0,433	0,378
		8	70	PAS	310	107	0,493	0,325
US_VS_3362	US_VS_3364	274	240	2xAXEKVCEY	834	93	0,063	0,057
US_VS_3364	VS_9247	54	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
		98	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
VS_9247	VS_9245	319	70	AlFe	236	107	0,433	0,378
VS_9245	US_VS_3385	36	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
US_VS_3385	US_VS_3384	390	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tab. 35. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 2. odbočka

2. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3024	VS_5669	42	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
		135	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5669	VS_5667	308	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5667	VS_5668	188	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5668	VS_5666	188	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5666	VS_5665	233	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5665	VS_5642	263	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5642	VS_5651	404	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5651	VS_5643	599	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5643	VS_5672	84	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5672	VS_5636	197	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097

Tab. 36. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 3. odbočka

3. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3090	VS_5583	317	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
VS_5583	VS_5586	1758	50	AlFe	177	107	0,696	0,389

Tab. 37. Zadané hodnoty – Vedení VN242 – 4. odbočka

4. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
US_VS_3089	VS_5645	74	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
		232	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_5645	VS_5654	394	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5654	VS_5653	130	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_5653	VS_5677	196	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
VS_5677	VS_9250	612	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119

Tab. 38. Zadané hodnoty – Vedení VN1915

Vedení VN 1915		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	VS_0049	1284	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_0049	VS_5678	86	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		692	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5678	VS_5627	317	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5627	VS_5631	398	120	HATPS	266	70	0,299	0,101
VS_5631	VS_5656	539	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5656	VS_5638	282	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		156	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_5638	VS_6538	229	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_6538	VS_9225	192	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		130	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		33	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_9225	US_VS_3379	33	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		294	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097

Tab. 39. Zadané hodnoty – Vedení VN1915 – 1. odbočka

1. odbočka		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>DOV</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_5627	VS_5637	233	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5637	VS_5640	382	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
		221	120	HATPS	266	70	0,299	0,101
VS_5640	VS_9216	127	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		98	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		234	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_9216	VS_6518	60	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		37	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_6518	VS_9214	38	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		173	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		258	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126

VS_9214	VS_5634	161	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		144	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		288	120	HATPS	266	70	0,299	0,101
VS_5634	VS_6539	220	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
VS_6539	VS_5633	66	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
VS_5633	VS_5660	180	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
VS_5660	US_VS_3084	48	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
		6	70	AlFe	236	107	0,319	0,430

Tab. 40. Zadané hodnoty – Vedení VN1916

Vedení VN 1916		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>Dov</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	VS_5639	1199	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_5639	VS_6527	333	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
		628	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_6527	VS_5664	633	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
		250	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
VS_5664	VS_9337	253	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_9337	VS_9320	583	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
VS_9320	US_VS_3312	67	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
US_VS_3312	VS_9202 (vn240)	161	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,421
VS_9202	VS_919	287	120	AlFe	357	107	0,234	0,421
VS_9199	VS_9212	533	120	AlFe	357	107	0,234	0,421
VS_9212	VS_9219	222	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
VS_9219	US_VS_3142	65	120	AlFe	357	107	0,234	0,421
US_VS_3142	VS_VMEZ	8	120	AlFe	357	107	0,234	0,421
		262	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tab. 41. Zadané hodnoty – Vedení AVA25

Vedení AVA25		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>Dov</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	SŽDC-PTNS	95	240	AXEKVCEY	417	94	0,125	0,113

Tab. 42. Zadané hodnoty – Vedení AVA27

Vedení AVA27		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>Dov</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	SŽDC-P1	165	240	AXEKVCEY	417	94	0,125	0,113

Tab. 43. Zadané hodnoty – Vedení AVA29

Vedení AVA 29		l (m)	S (mm <sup>2</sup> )	Typ	I <sub>Dov</sub> (A)	K	R <sub>k</sub> (Ω/km)	X <sub>k</sub> (Ω/km)
Z	Kam							
VS_VMEZ	SŽDC-P2	135	240	AXEKVCEY	417	94	0,125	0,113

## 5.4. Výsledné zkratové poměry

Tab. 44. Výsledné hodnoty – Vedení VN25

Vedení VN 25		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	US_VS_3125	0,201	0,273	7,25	4,28	1,87
		0,237	0,327	7,05	4,19	3,01
US_VS_3125	US_VS_3128	0,685	1,008	5,17	3,30	3,19
US_VS_3128	VS_5463	1,105	1,648	4,11	2,74	5,92
US_VS_5463	US_VS_3323	1,841	2,767	3,01	2,09	9,38
US_VS_3323	US_VS_3130	2,202	3,316	2,65	1,88	17,54
US_VS_3130	US_VS_3132	2,565	3,870	2,37	1,70	22,52
US_VS_3132	US_VS_3131	2,904	4,384	2,16	1,56	28,18

Tab. 45. Výsledné hodnoty – Vedení VN25 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3132	US_VS_5009	4,911	5,181	1,72	1,27	4,89
US_VS_5009	US_VS_3324	5,366	5,735	1,59	1,18	9,27
US_VS_3324	US_VS_3283	6,569	6,407	1,40	1,05	10,90
US_VS_3283	US_VS_3253	7,232	7,624	1,24	0,93	27,64
US_VS_3253	US_VS_3433	7,654	8,399	1,15	0,87	35,33

Tab. 46. Výsledné hodnoty – Vedení VN104

Vedení VN 104		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	US_VS_3059	0,947	1,113	4,87	3,15	1,39
		1,136	1,405	4,38	2,89	6,67
		1,161	1,444	4,32	2,86	8,26
US_VS_3059	US_VS_3061	1,328	1,674	4,00	2,68	7,13
US_VS_3061	VS_5494	1,365	1,724	3,93	2,64	8,33
VS_5494	US_VS_3066	1,453	1,812	3,81	2,58	10,25
		1,538	1,930	3,68	2,50	9,15
US_VS_3066	US_VS_3069	1,788	2,274	3,33	2,29	9,84
US_VS_3069	US_VS_3071	1,916	2,449	3,18	2,20	12,00
US_VS_3071	VS_9371 (FVE 4 MW)	2,054	2,640	3,02	2,11	13,19
		2,204	2,846	2,88	2,02	14,55
VS_9371	US_VS_3437	2,722	3,558	2,46	1,75	16,10
US_VS_3437	US_VS_3074	2,981	3,915	2,29	1,65	22,08
US_VS_3074	US_VS_3307	3,118	4,103	2,21	1,59	25,44
US_VS_3307	US_VS_3309 (VN1201 RZNV)	3,233	4,261	2,15	1,55	27,30
US_VS_3309	US_VS_3080	3,390	4,477	2,07	1,50	28,92
US_VS_3080	US_VS_3079	3,606	4,774	1,96	1,43	31,22
US_VS_3079	VS_RZNV	3,626	4,792	1,96	1,43	124,13
		3,686	4,833	1,94	1,42	72,84

Tab. 47. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3069	US_VS_3069	1,890	2,481	3,16	2,19	3,75
US_VS_3069	US_VS_3463	2,529	3,039	2,71	1,91	5,38
US_VS_3463	US_VS_3351	3,407	3,520	2,33	1,68	2,65
US_VS_3351	VS_5565	3,498	3,567	2,30	1,66	2,48
VS_5565	US_VS_3274	3,780	3,821	2,17	1,58	10,18
US_VS_3274	VS_5682	3,817	3,839	2,16	1,57	2,85
VS_5682	VS_5688	4,433	4,393	1,93	1,42	11,52

Tab. 48. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 2. odbočka

2. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3071	US_VS_3010	3,280	3,212	2,46	1,77	2,73
US_VS_3010	VS_5702	3,692	3,422	2,30	1,67	2,22
VS_5702	US_VS_3064	4,286	3,754	2,10	1,53	5,18
US_VS_3064	VS_5703	4,345	3,773	2,08	1,52	9,25
		4,538	3,880	2,02	1,48	6,34

Tab. 49. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 3. odbočka

3. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3309	VS_5426	3,739	4,703	1,96	1,43	11,71
VS_5426	US_VS_3076	4,348	5,234	1,78	1,31	13,99
US_VS_3076	US_VS_3304	5,156	5,940	1,58	1,17	17,04
US_VS_3304	US_VS_3078	5,745	6,242	1,49	1,11	5,40
US_VS_3078	US_VS_3423	6,937	6,851	1,32	0,99	6,10
US_VS_3423	VS_5409	7,602	7,431	1,23	0,92	30,78
		7,639	7,465	1,22	0,92	35,82
VS_5409	VS_5406	7,696	7,494	1,22	0,92	9,03
VS_5406	US_VS_3113	7,973	7,646	1,19	0,90	13,13
US_VS_3113	VS_0103	8,297	7,747	1,16	0,88	28,92

Tab. 50. Výsledné hodnoty – Vedení VN104 – 4. odbočka

4. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3080	VS_5446	3,670	4,721	1,97	1,43	12,64
VS_5446	US_VS_3081	3,976	4,878	1,89	1,39	3,48
US_VS_3081	US_VS_3082	4,621	5,441	1,71	1,26	15,03
US_VS_3082	VS_5434	4,730	5,536	1,68	1,24	18,40
VS_5434	US_VS_3372	5,041	5,696	1,63	1,20	4,75
US_VS_3372	VS_5435	5,452	5,906	1,56	1,16	5,09
VS_5435	VS_5451	6,154	6,298	1,44	1,08	11,35



Tab. 51. Výsledné hodnoty – Vedení VN213

Vedení VN 213		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VM_VMEZ	VS_9217	0,297	0,519	6,44	3,91	3,48
VS_9217	US_VS_3354	0,320	0,555	6,33	3,86	3,82
US_VS_3354	US_VS_3135	0,801	1,298	4,66	3,03	3,95
US_VS_3135	US_VS_3297	1,007	1,616	4,18	2,77	7,29
US_VS_3297	US_VS_3328	1,129	1,782	3,96	2,65	7,62
US_VS_3328	US_VS_3329	1,171	1,840	3,89	2,61	8,50
		1,373	2,153	3,55	2,41	10,49

Tab. 52. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3354	VS_9191	0,399	0,647	6,06	3,73	2,48
VS_9191	VS_9190	0,458	0,699	5,91	3,66	1,47
VS_9190	US_VS_9350	0,525	0,735	5,79	3,61	0,56
US_VS_9350	VS_9350	0,609	0,777	5,66	3,55	3,57

Tab. 53. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 2. odbočka

2. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3135	VS_9007	1,159	1,583	4,16	2,77	2,48
VS_9007	VS_5499	2,008	2,048	3,41	2,35	1,12
		2,161	2,256	3,22	2,24	11,43
VS_5499	US_VS_3433	2,782	2,751	2,77	1,96	5,20

Tab. 54. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 3. odbočka

3. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3297	VS_5554	1,061	1,689	4,08	2,72	7,62
VS_5554	VS_5547	1,119	1,741	4,00	2,68	38,09
VS_5547	VS_nová	1,205	1,819	3,90	2,62	39,53
VS_nová	VS_6540	1,225	1,837	3,87	2,60	41,73
VS_6540	US_VS_3370	1,309	1,913	3,77	2,55	42,27

Tab. 55. Výsledné hodnoty – Vedení VN213 – 4. odbočka

4. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3328	VS_5710	1,251	1,949	3,76	2,54	8,50
		1,382	2,063	3,62	2,46	3,82
		1,410	2,106	3,57	2,43	12,11
		1,723	2,380	3,28	2,26	4,22
VS_5710	US_VS_3138	1,995	2,617	3,05	2,13	5,02
US_VS_3138	VS_5581	2,776	3,054	2,64	1,88	2,95
VS_5581	VS_5582	3,361	3,375	2,39	1,72	2,78

Tab. 56. Výsledné hodnoty – Vedení VN221

Vedení VN 221		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VM_VMEZ	VM_9217	0,33	0,60	6,19	3,80	3,48
VM_9217	US_VS_3298	1,08	1,76	4,00	2,67	4,13
US_VS_3298	US_VS_3141	1,25	1,98	3,73	2,52	8,33
		1,49	2,36	3,36	2,30	11,40
US_VS_3141	US_VS_3358	1,53	2,41	3,31	2,27	14,07
US_VS_3358	PR_9075	2,14	3,36	2,65	1,87	14,49
PR_9075	PR_9265	2,93	4,59	2,10	1,52	22,60

Tab. 57. Výsledné hodnoty – Vedení VN221 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3298	VS_9095 (vn213)	1,28	1,93	3,76	2,54	29,96

Tab. 58. Výsledné hodnoty – Vedení VN228

Vedení VN 228		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	US_VS_3110	0,767	1,055	5,06	3,24	1,87
US_VS_3110	VS_5502	0,920	1,266	4,66	3,04	5,21
VS_5502	US_VS_3112	1,240	1,700	4,00	2,68	6,13
US_VS_3112	US_VS_3113	1,542	2,110	3,53	2,41	8,31
US_VS_3113	US_VS_3310	1,958	2,675	3,03	2,11	10,69
US_VS_3310	US_VS_3116	2,245	3,063	2,76	1,94	14,51
US_VS_3116	US_VS_3115	2,270	3,098	2,74	1,93	17,49
US_VS_3115	US_VS_3152 (VN1212 VSTN)	2,923	3,984	2,28	1,64	17,77
US_VS_3152	US_VS_3375	3,530	4,808	1,97	1,43	25,71
US_VS_3375	US_VS_6439	3,963	5,404	1,79	1,31	34,46
US_VS_6439	VS_9291	4,475	6,109	1,62	1,20	41,57
VS_9291	VS_VSTN	4,777	6,524	1,53	1,14	50,85

Tab. 59. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3310	VS_5483	2,195	2,882	2,86	2,01	5,87
VS_5483	US_VS_3122	2,667	3,295	2,57	1,83	6,60
		2,959	3,550	2,41	1,73	8,18
US_VS_3122	US_VS_3118	3,848	4,327	2,04	1,48	9,26
US_VS_3118	VS_5475	4,054	4,508	1,96	1,43	13,02
VS_5475	VS_9001	4,144	4,558	1,94	1,42	7,14
VS_9001	VS_5477	4,221	4,597	1,92	1,41	3,58
VS_5477	US_VS_3107	4,852	5,149	1,74	1,28	14,62
US_VS_3107	US_VS_3120	5,035	5,310	1,69	1,25	17,91
US_VS_3120	VS_5683	5,529	5,742	1,57	1,17	18,93
VS_5683	VS_9170	6,306	6,420	1,42	1,06	21,84

VS_9170	US_VS_3304	6,351	6,443	1,41	1,06	59,59
		6,431	6,476	1,40	1,05	37,67
		6,513	6,516	1,39	1,04	60,99

Tab. 60. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 1-1. odbočka

1-1. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3122	VS_5614	3,588	4,099	2,13	1,55	8,18
VS_5614	US_VS_3123	4,198	4,632	1,92	1,40	11,84

Tab. 61. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 2. odbočka

2. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3116	VS_5577	3,725	4,359	2,05	1,49	7,08
VS_5577	VS_5579	4,218	4,790	1,88	1,38	12,88
VS_5579	VS_5578	4,669	5,038	1,78	1,31	5,49

Tab. 62. Výsledné hodnoty – Vedení VN228 – 3. odbočka

3. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3152	US_VS_3151	3,012	4,061	2,24	1,61	10,41
US_VS_3151	VS_4838	3,369	4,373	2,10	1,52	9,57
VS_4838	VS_9053 (Zbrojovka)	3,386	4,388	2,09	1,51	10,92
		3,692	4,656	1,98	1,44	12,36

Tab. 63. Výsledné hodnoty – Vedení VN229

Vedení VN 229		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	US_VS_3111	0,698	0,960	5,26	3,34	1,87
US_VS_3111	VS_9063	0,782	1,076	5,01	3,22	4,82
VS_9063	VS_9239	1,171	1,293	4,50	2,96	1,09

Tab. 64. Výsledné hodnoty – Vedení VN234

Vedení VN 234		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
R VS_VMEZ	US_VS_3083	0,364	0,428	6,67	4,02	1,39
US_VS_3083	US_VS_3384	0,445	0,523	6,36	3,88	2,23
US_VS_3384	US_VS_3084	0,520	0,612	6,09	3,75	2,46
US_VS_3084	US_VS_3085	0,632	0,743	5,72	3,58	2,68
US_VS_3085	US_VS_3086	0,890	1,047	5,01	3,22	3,03
US_VS_3086	US_VS_3087	0,952	1,119	4,86	3,15	3,96
US_VS_3087	US_VS_3336	1,037	1,268	4,60	3,01	10,47
US_VS_3336	US_VS_3088	1,152	1,469	4,30	2,84	11,68

Tab. 65. Výsledné hodnoty – Vedení VN240

Vedení VN 240		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	US_VS_3142	0,033	0,030	8,30	4,72	6,72
		0,035	0,032	8,28	4,71	2,30
US_VS_3142	VS_9219	0,050	0,056	8,17	4,67	2,31
VS_9219	VS_9212	0,078	0,081	8,06	4,62	7,17
VS_9212	VS_9199	0,202	0,270	7,26	4,28	2,44
VS_9199	VS_9202	0,269	0,373	6,89	4,12	3,00
VS_9202	US_VS_3312	0,312	0,431	6,69	4,03	2,81
US_VS_3312	VS_9320	0,329	0,439	6,66	4,01	2,68
VS_9320	VS_9337	0,477	0,513	6,37	3,89	2,70
VS_9337	VS_5664	0,541	0,544	6,25	3,83	2,95
VS_5664	VS_6527	0,615	0,569	6,14	3,78	1,79
		0,776	0,649	5,84	3,65	3,18
VS_6527	VS_5639	0,935	0,728	5,55	3,51	3,51
		1,034	0,760	5,42	3,45	2,26
VS_5639	VS_0049	1,045	0,770	5,39	3,44	16,32
VS_004	VS_5678	1,056	0,780	5,36	3,42	16,49
		1,262	0,847	5,09	3,29	2,43
VS_567	VS_5627	1,357	0,877	4,97	3,24	2,69
VS_5627	VS_5631	1,476	0,918	4,82	3,16	2,83
VS_5631	VS_5656	1,637	0,970	4,63	3,06	3,01
VS_5656	VS_5638	1,721	0,997	4,53	3,01	3,26
		1,761	1,017	4,48	2,99	5,84
VS_5638	VS_6538	1,818	1,046	4,40	2,95	5,97
VS_6538	VS_9225	1,867	1,070	4,34	2,91	6,18
		1,906	1,082	4,30	2,89	3,70
		1,914	1,087	4,29	2,89	6,48
VS_9225	US_VS_3379	1,923	1,091	4,28	2,88	6,51
		2,011	1,119	4,19	2,83	3,81

Tab. 66. Výsledné hodnoty – Vedení VN240 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_5627	VS_5637	1,426	0,900	4,88	3,19	2,83
VS_5637	VS_5662	1,520	0,930	4,77	3,14	2,93
VS_5662	VS_5640	1,581	0,950	4,69	3,10	3,07
		1,660	0,996	4,58	3,04	8,49
		1,726	1,018	4,50	3,00	3,33
VS_5640	VS_9216	1,764	1,030	4,46	2,98	3,44
		1,789	1,043	4,43	2,96	6,02
		1,859	1,065	4,35	2,92	3,56
VS_9216	VS_6518	1,877	1,071	4,33	2,91	3,69
		1,886	1,076	4,32	2,90	6,38
VS_6518	VS_9214	1,896	1,081	4,31	2,90	6,42
		1,948	1,097	4,25	2,87	3,76
		2,013	1,130	4,18	2,83	6,62
VS_921	VS_5634	2,054	1,150	4,13	2,80	6,86

		2,097	1,164	4,09	2,78	4,09
		2,183	1,193	4,00	2,73	4,18
VS_5634	VS_6539	2,228	1,219	3,95	2,70	11,67
VS_6539	VS_5633	2,242	1,227	3,94	2,69	11,98
VS_5633	VS_5660	2,265	1,243	3,91	2,68	18,02
VS_5660	US_VS_3084	2,271	1,247	3,90	2,67	18,28
		2,273	1,250	3,90	2,67	2,68

Tab. 67. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208

Vedení VN 1208		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	US_VS_62	0,808	0,950	5,22	3,33	1,39
US_VS_62	VS_6414	1,732	2,037	3,52	2,41	3,65
VS_6414	VS_9188	1,791	2,116	3,44	2,36	10,73
VS_9188	US_VS_9220	1,870	2,209	3,35	2,31	8,38
US_VS_9220	US_VS_3373	1,958	2,329	3,24	2,24	11,87
US_VS_3373	US_VS_3366	2,102	2,523	3,08	2,15	12,67
		2,162	2,605	3,02	2,11	16,72
		2,290	2,778	2,89	2,03	14,65
US_VS_3366	VS_9334 (VN251 RZNV)	2,780	3,443	2,49	1,78	15,96
VS_9334	VS_9370 (FVE 5,3 MW)	2,914	3,626	2,40	1,72	21,52
VS_9370	US_VS_3103	3,185	3,994	2,23	1,61	23,20
US_VS_3103	VS_9342	3,849	4,895	1,91	1,39	26,78
VS_9342	US_VS_3102	3,868	4,917	1,90	1,39	27,33
		4,323	5,534	1,73	1,27	36,92
US_VS_3102	VS_RZNV	4,342	5,552	1,72	1,27	160,39
		4,403	5,593	1,71	1,26	94,03

Tab. 68. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_62	VS_0062	0,845	0,020	7,51	4,47	6,87

Tab. 69. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 – 2. odbočka

2. odbočka		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_9220	VS_0051	2,031	2,457	3,14	2,18	14,12
		2,065	2,504	3,10	2,16	13,52
		2,067	2,507	3,10	2,16	16,48
		2,094	2,515	3,09	2,15	7,27
		2,119	2,528	3,07	2,14	12,57

Tab. 70. Výsledné hodnoty – Vedení VN1208 – 3. odbočka

3. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_9342	VS_9342	4,106	5,119	1,83	1,34	14,84

Tab. 71. Výsledné hodnoty – Vedení VN242

Vedení VN 242		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	VS_5625	0,395	0,464	6,55	3,97	1,39
VS_5625	US_FM_3095	0,560	0,659	5,95	3,69	2,31
		0,570	0,676	5,91	3,67	6,99
US_FM_3095	US_VS_61	0,717	0,942	5,28	3,36	7,10
US_VS_61	US_VS_3330	0,767	1,031	5,10	3,26	8,89
US_VS_3330	US_VS_3024	0,783	1,060	5,04	3,23	9,53
US_VS_3024	US_VS_3091	0,896	1,265	4,67	3,04	9,75
US_VS_3091	US_VS_3090	0,911	1,291	4,63	3,02	11,35
US_VS_3090	US_VS_3300	1,063	1,566	4,22	2,80	11,56
US_VS_3300	US_VS_3089	1,113	1,657	4,10	2,73	13,92
US_VS_3089	US_VS_3088	1,141	1,706	4,03	2,69	14,76

Tab. 72. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_61	US_VS_3362	0,762	0,981	5,19	3,31	1,72
		0,766	0,984	5,18	3,31	2,01
US_VS_3362	US_VS_3364	0,783	0,999	5,14	3,29	17,85
US_VS_3364	VS_9247	0,807	1,020	5,10	3,27	2,04
		0,875	1,058	5,00	3,22	1,06
VS_9247	VS_9245	1,013	1,178	4,74	3,09	2,16
VS_9245	US_VS_3385	1,038	1,192	4,71	3,07	1,22
US_VS_3385	US_VS_3384	1,087	1,236	4,62	3,02	21,59

Tab. 73. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 2. odbočka

2. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3024	VS_5669	0,816	1,077	5,00	3,21	0,53
		0,856	1,090	4,96	3,19	2,80
VS_5669	VS_5667	0,948	1,120	4,86	3,15	2,84
VS_5667	VS_5668	1,004	1,138	4,81	3,12	2,95
VS_5668	VS_5666	1,060	1,156	4,75	3,09	3,02
VS_5666	VS_5665	1,130	1,179	4,68	3,06	3,09
VS_5665	VS_5642	1,209	1,205	4,60	3,02	3,19
VS_5642	VS_5651	1,330	1,244	4,48	2,96	3,29
VS_5651	VS_5643	1,509	1,302	4,31	2,87	3,47
VS_5643	VS_5672	1,534	1,310	4,29	2,86	3,75
VS_5672	VS_5636	1,593	1,329	4,23	2,83	3,79

Tab. 74. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 3. odbočka

3. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3090	VS_5583	1,158	1,418	4,35	2,88	0,63
VS_5583	VS_5586	2,381	2,101	3,24	2,26	1,45

Tab. 75. Výsledné hodnoty – Vedení VN242 – 4. odbočka

4. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
US_VS_3089	VS_5645	1,165	1,686	4,05	2,70	1,64
		1,194	1,712	4,01	2,68	29,24
VS_5645	VS_5654	1,312	1,750	3,93	2,64	4,34
VS_5654	VS_5653	1,328	1,765	3,91	2,63	31,05
VS_5653	VS_5677	1,368	1,788	3,87	2,61	12,26
VS_5677	VS_9250	1,494	1,861	3,75	2,54	12,50

Tab. 76. Výsledné hodnoty – Vedení VN1915

Vedení VN 1915		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	VS_0049	0,161	0,145	7,76	4,50	6,72
VS_0049	VS_5678	0,182	0,156	7,71	4,47	1,99
		0,389	0,223	7,33	4,32	1,17
VS_5678	VS_5627	0,484	0,254	7,15	4,25	1,30
VS_5627	VS_5631	0,603	0,294	6,91	4,15	1,33
VS_5631	VS_5656	0,764	0,346	6,60	4,02	1,46
VS_5656	VS_5638	0,848	0,374	6,44	3,95	1,60
		0,888	0,393	6,35	3,91	2,89
VS_5638	VS_6538	0,946	0,422	6,21	3,85	2,97
VS_6538	VS_9225	0,994	0,446	6,10	3,80	3,10
		1,033	0,459	6,03	3,77	1,87
		1,042	0,463	6,02	3,77	3,29
VS_9225	US_VS_3379	1,050	0,467	6,00	3,76	3,31
		1,138	0,496	5,84	3,69	1,94

Tab. 77. Výsledné hodnoty – Vedení VN1915 – 1. odbočka

1. odbočka		Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>vyp</sub> (s)
Z	Kam					
VS_5627	VS_5637	0,554	0,276	7,02	4,20	1,36
VS_5637	VS_5640	0,632	0,322	6,80	4,10	3,80
		0,698	0,344	6,67	4,05	1,47
VS_5640	VS_9216	0,736	0,357	6,60	4,02	1,57
		0,761	0,369	6,54	3,99	2,75
		0,831	0,392	6,41	3,94	1,63
VS_9216	VS_6518	0,849	0,397	6,38	3,92	1,70
		0,858	0,402	6,35	3,91	2,94
VS_6518	VS_9214	0,868	0,407	6,33	3,90	2,97
		0,920	0,424	6,24	3,86	1,74
		0,985	0,456	6,09	3,80	3,08

VS_9214	VS_5634	1,026	0,476	6,00	3,76	3,23
		1,069	0,490	5,93	3,72	1,94
		1,155	0,519	5,78	3,65	1,93
VS_5634	VS_6539	1,200	0,546	5,68	3,61	5,61
VS_6539	VS_5633	1,214	0,553	5,65	3,59	5,80
VS_5633	VS_5660	1,237	0,569	5,59	3,57	8,75
VS_5660	US_VS_3084	1,243	0,574	5,58	3,56	8,92
		1,245	0,576	5,57	3,56	1,73

Tab. 78. Výsledné hodnoty – Vedení VN1916

Vedení VN 1916		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	VS_5639	0,150	0,135	7,80	4,51	6,72
VS_5639	VS_6527	0,249	0,168	7,63	4,44	1,15
		0,408	0,247	7,23	4,28	2,06
VS_6527	VS_5664	0,568	0,327	6,84	4,12	2,29
		0,643	0,351	6,70	4,06	1,49
VS_5664	VS_9337	0,707	0,383	6,55	3,99	2,66
VS_9337	VS_9320	0,855	0,456	6,22	3,85	2,79
VS_9320	US_VS_3312	0,872	0,465	6,18	3,83	3,09
US_VS_3312	VS_9202 (vn240)	0,915	0,532	5,98	3,73	3,48
VS_9202	VS_919	0,982	0,653	5,67	3,58	4,42
VS_9199	VS_9212	1,106	0,878	5,16	3,32	4,94
VS_9212	VS_9219	1,134	0,903	5,09	3,29	18,01
VS_9219	US_VS_3142	1,149	0,930	5,04	3,26	6,11
US_VS_3142	VS_VMEZ	1,151	0,934	5,03	3,25	6,24
		1,184	0,963	4,96	3,22	18,90

Tab. 79. Výsledné hodnoty – Vedení AVA25

Vedení AVA25		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	SŽDC-PTNS	0,012	0,011	8,39	4,75	6,87

Tab. 80. Výsledné hodnoty – Vedení AVA27

Vedení AVA27		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	SŽDC-P1	0,021	0,019	8,35	4,74	6,87

Tab. 81. Výsledné hodnoty – AVA29

Vedení AVA 29		Rv ( $\Omega$ )	Xv ( $\Omega$ )	Ik <sub>3max</sub> (kA)	Ik <sub>2min</sub> (kA)	t <sub>typ</sub> (s)
Z	Kam					
VS_VMEZ	SŽDC-P2	0,017	0,015	8,37	4,75	6,87



## 6. Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně R110/22 kV

### 6.1. Nastavení rozběhového proudu

U nadproudových nezávislých ochran nastavujeme dva rozběhové proudy, a to pro nadproudový a zkratový článek ochrany.

- a) U nadproudového článku musí být rozběhový proud větší než největší dovolené zatížení vedení.

$$I_r \geq \frac{k_b * I_{DOV}}{k_p * p_i} \quad (6.1)$$

kde:

$k_b$  – koeficient bezpečnosti

$I_{DOV}$  – nejvyšší dovolené zatížení vodičů vedení

$k_p$  – přídržný poměr relé

$p_i$  – jmenovitý převod jistícího transformátoru proudu

Koeficient bezpečnosti  $k_b$  volím 1,2 pro venkovní vedení a 1,05 pro kabelová vedení s ohledem na přetížitelnost těchto prvků. Proud  $I_{DOV}$  je nejvyšší dovolené zatížení nejslabšího úseku na dané lince. Přídržný poměr relé  $k_p$  jsem zvolil 0,95. Jmenovitý převod jistícího transformátoru proudu pak záleží na použitém PTP na dané lince. [1]

- b) U zkratového článku musí být rozběhový proud  $I_r$  menší než nejmenší zkratový proud, který je očekáván na konci chráněného úseku. [1]

$$I_r < \frac{I_{k2min}}{k_c * p_i} \quad (6.2)$$

kde:

$I_{k2min}$  – nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku

$k_c$  – koeficient citlivosti

Nejmenší zkratový proud nastává v našem případě (izolovaná síť vn) při dvoupólovém izolovaném zkratu. Koeficient citlivosti  $k_c$  se volí na základě praktických zkušeností. Mnou zvolená hodnota pro nasazenou digitální ochranu je 1,2.

#### Příklad výpočtu pro vedení VN25:

- a) Nadproudový článek:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b * I_{DOV}}{k_p}$$

$$I_{r1prim} \geq \frac{1,2 * 177}{0,95} = 223,58 \text{ A} \cong 225 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} \geq \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{225}{60} = 3,75 \text{ A}$$

b) Zkratový článek:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c}$$

$$I_{r2prim} \leq \frac{0,868 * 1000}{1,2} = 723,33 \text{ A} \cong 720 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} \geq \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{720}{60} = 12 \text{ A}$$

Tab. 82. Hodnoty použité pro výpočet

Vedení	PTP	I <sub>DOV</sub> (A)	I <sub>K2min</sub> (kA)	k <sub>b</sub>	k <sub>c</sub>
VN25	300/5	177	0,87	1,2	1,2
VN104	400/5	150	0,88	1,2	1,2
VN213	400/5	163	1,72	1,2	1,2
VN221	400/5	318	1,52	1,2	1,2
VN228	400/5	150	1,04	1,2	1,2
VN229	250/5	177	2,96	1,2	1,2
VN234	400/5	284	2,84	1,2	1,2
VN240	250/5	236	2,67	1,2	1,2
VN1208	400/5	225	1,26	1,2	1,2
VN242	400/5	150	2,26	1,2	1,2
VN1915	400/1	236	3,56	1,2	1,2
VN1916	400/1	241	3,22	1,05	1,2
SŽDC-P1	500/1	417	4,74	1,05	1,2
SŽDC-P2	500/1	417	4,75	1,05	1,2
SŽDC-PTNS	200/5	240	4,75	1,05	1,2
SP1	800/5	960	-	-	-
SP2	1500/5	1800	-	-	-
SPP	400/5	480	-	-	-
HDO	100/1	120	-	-	-
Rezerva	150/5	-	-	-	-
Rezerva	150/5	-	-	-	-

Tab. 83. Nastavené hodnoty

Vedení	Nadproudová			Zkratová			Závislá	
	I <sub>r1prim</sub> (A)	I <sub>r1sek</sub> (A)	t (s)	I <sub>r2prim</sub> (A)	I <sub>r2sek</sub> (A)	t (s)	I <sub>p</sub> (A)	t <sub>ip</sub> (s)
VN25	255	3,75	1	720	12	0,2	-	-
VN104	190	2,375	1,4	730	9,125	0	-	-
VN213	200	2,5	1,4	1440	18	0,2	-	-
VN221	400	5	1,4	1264	15,8	0,2	-	-
VN228	192	2,4	1,4	872	10,9	0	-	-
VN229	225	4,5	1	2470	49,4	0	-	-
VN234	360	4,5	1	2368	29,6	0	-	-
VN240	300	6	1	2225	44,5	0	-	-
VN1208	280	3,5	1,4	1040	13	0	-	-
VN242	192	2,4	1	1880	23,5	0	-	-
VN1915	300	0,75	1	2960	7,4	0	-	-
VN1916	260	0,65	1	2680	6,7	0	-	-
SŽDC-P1	-	-	-	1600	3,2	0,4	550	0,6
SŽDC-P2	-	-	-	1600	3,2	0,4	550	0,6
SŽDC-PTNS	-	-	-	1000	25	0	264	0,1
SP1	960	6	0,8	3200	20	0,2	-	-
SP2	1800	6	0,8	3300	11	0,2	-	-
SPP	-	-	-	-	-	-	-	-
HDO	120	1,2	1	500	5	0	-	-
Rezerva	-	-	-	-	-	-	-	-
Rezerva	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 6.1.1. Nastavení pro SŽDC-P1, SŽDC-P2, SŽDC-PTNS

Tyto ochrany je potřeba zkorigovat s nastavením na straně SŽDC tak, aby docházelo k požadované selektivitě působení. U SŽDC-P1, P2 a PTNS je vzhledem k nastavení ochran v těchto drážních rozvodnách nezávislý nadproudový článek nahrazen článkem se závislou charakteristikou.

#### 6.1.2. Nastavení pro SP1, SP2, SPP, HDO a Rezervy

Nadproudová ochrana u spojek se nastavuje na 120 % přetížení PTP. Dovolenou hodnotu proudu tedy spočítáme takto:

$$I_{DOV} = 1,2 * PTP \quad (6.3)$$

Nastavená hodnota proudu musí být vzhledem k selektivitě o 10 % nižší, než je hodnota nastavená na ochranách transformátoru. Zkratový stupeň musí být vyšší, než je nejvyšší zkratový stupeň vývodů. Čas je z důvodu použití logické ochrany rozvody nastaven na hodnotu 0,2 s. Pokud nastane zkrat na vedení, je zkratový stupeň SP blokován od směrových zkratových stupňů vývodů. Naopak pokud zkrat nastane na přípojnicí, dochází k vypnutí za 0,2 s. V tabulce nejsou uvedeny hodnoty nastavení pro SPP z důvodu možnosti různého nastavení pro různé vývody. Použitá ochrana 7SJ85 může mít až 8 sad různých nastavení, přičemž běžně se nastavují 4 sady. Vývody jsou k jednotlivým sadám

rozděleny tak, aby v jedné sadě byly vždy vývody s podobným nastavením. U HDO volíme podobný postup. U nadproudového článku ochrany je tedy dovolený proud určen jako 120 % přetížitelnosti PTP. Zkratová ochrana je nastavená dle dlouhodobých zkušeností. Pro rezervy se nastavení neurčuje.

## 6.2. Nastavení zemní směrové ochrany

Pro detekci zemních spojení je zde využita wattmetrická metoda. Takovéto ochrany vyhodnocují napětí  $U_0$ , nulovou složku proudu  $I_0$  a úhel  $\phi_0$  mezi nimi. Z důvodu zjednodušení výpočtu je zvoleno jednotné nastavení zemních směrových ochran. Napětí je nastaveno na hodnotu  $U_0 = 15\%$  a proud na  $I_0 = 2\text{ A}$ . Úhel  $\phi_0$  mezi těmito veličinami je ovlivněn úhlovou chybou PTP. Měřením bylo zjištěno, že pro průvlekové transformátory je nejvýhodnější použít úhel  $80^\circ$  a pro fázové s ochranou zapojenou do jejich nulové větve  $75^\circ$ . Úhel u postižených vývodu nepřesahuje hodnotu  $65^\circ$ , u vývodů bez poruchy pak neklesá pod  $75^\circ$ . Časové zpoždění je zde nastaveno na 0,2 s. Tato hodnota se osvědčila z důvodu vzniku přechodných dějů při zemním spojení, které by mohly způsobit chybné měření. 0,2 s je dostatečný čas na to, aby tyto přechodné děje odezněly. [9]

Tab. 84. Nastavení zemní směrové ochrany

Vedení	Zemní směrová $W_0$ (TL sítě)				
	$I_0$ (A)	$U_0$ (%)	$t_0$ (s)	$\phi_{0P}$ ( $^\circ$ )	$\phi_{0L}$ ( $^\circ$ )
VN25	2	15	0,2	15	15
VN104	2	15	0,2	15	15
VN213	2	15	0,2	15	15
VN221	2	15	0,2	15	15
VN228	2	15	0,2	15	15
VN229	2	15	0,2	15	15
VN234	2	15	0,2	15	15
VN240	2	15	0,2	15	15
VN1208	2	15	0,2	15	15
VN242	2	15	0,2	15	15
VN1915	2	15	0,2	15	15
VN1916	2	15	0,2	15	15
SŽDC-P1	2	15	0,2	15	15
SŽDC-P2	2	15	0,2	15	15
SŽDC-PTNS	2	15	0,2	15	15
SP1	-	-	-	-	-
SP2	-	-	-	-	-
SPP	2	15	0,2	15	15
HDO	-	-	-	-	-
Rezerva	-	-	-	-	-
Rezerva	-	-	-	-	-

### 6.3. Nastavení OZ

Funkce opětného zapnutí nalezne svou funkci především u venkovních vedení, kde se vyskytují poruchy přechodného charakteru. Působením OZ jsme schopni takovéto poruchy eliminovat. Opětne zapnutí se tedy nevyužívá na kabelových vedeních, ale může být použito na vedeních smíšených, kde je většina vedení venkovního charakteru. První beznapětová pauza je nastavena na základě praktických dlouhodobých zkušeností na hodnotu 0,8 s. Pokud je to umožněno vypínačem (vakuový nebo SF6), je možné provést druhé opětne zapnutí s beznapětovou pauzou 30 s. Stav nám říká, zda je automatika OZ na daném vedení zapnutá či vypnutá. Automatika je vypnutá na kabelových či převážně kabelových vedeních. U SPP stav automatiky OZ závisí na převáděném vedení.

Tab. 85. Nastavení OZ

Vedení	OZ		
	Stav (-)	t <sub>1</sub> (s)	t <sub>2</sub> (s)
VN25	Zap	0,8	30
VN104	Zap	0,8	-
VN213	Zap	0,8	30
VN221	Zap	0,8	30
VN228	Zap	0,8	-
VN229	Zap	0,8	30
VN234	Zap	0,8	-
VN240	Vyp	0,8	30
VN1208	Zap	0,8	-
VN242	Vyp	0,8	30
VN1915	Vyp	0,8	30
VN1916	Vyp	0,8	30
SŽDC-P1	-	-	-
SŽDC-P2	-	-	-
SŽDC-PTNS	-	-	-
SP1	-	-	-
SP2	-	-	-
SPP	Vyp	0,8	30
HDO	-	-	-
Rezerva	-	-	-
Rezerva	-	-	-

## 7. Závěr a zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran

Práce se zabývá návrhem a nastavením elektrických ochran v rozvodně R110/22 kV Valašské Meziříčí. Je v ní shrnut ucelený základ teorie o elektrických ochranách se zaměřením na ochrany nadproudové. Toto zaměření vyplývalo z potřeby výměny starých a dosluhujících elektromechanických ochran v části rozvodny 22 kV. Výměna byla provedena jako součást rekonstrukce řídicího systému rozvodny a systému chránění, jejíž důvodem bylo stáří, špatný technický stav a již nedostačující systém chránění. Cílem rekonstrukce bylo hlavně zvýšení spolehlivosti a tím i snížení nákladů. Staré elektromechanické ochrany byly nahrazeny novými, a to typem Siemens SIPROTEC 5 7SJ85. Aby byl možný správný návrh nastavení těchto nových ochran, je nutné určit zkratové poměry. Proto je v práci teoreticky rozebrán výpočet zkratových proudů. Teoretický rozbor výpočtu se kromě postupu výpočtu či podmínek pro stanovení maximálního a minimálního zkratového proudu věnuje také výpočtu ve fyzikálních jednotkách, ve kterých byl proveden i následný výpočet v navazující praktické části.

Digitální multifunkční ochrana Siemens SIPROTEC 5 7SJ85 použita v dané rozvodně disponuje mnoha funkcemi, z nichž využíváme především její už výše zmíněnou nadproudovou funkci a dále také funkci nadproudovou směrovou, citlivou detekci zemních spojení, frekvenční ochranu či automatiku OZ. Ve 4. kapitole jsou tyto funkce a jejich realizace podrobněji popsány a následně v praktické části je proveden jejich návrh nastavení. Návrh nastavení nebyl prováděn u frekvenční ochrany, jejíž nastavení je dáno systémem frekvenčního odlehčování (SAFO), kterým se společnost ČEZ Distribuce, a. s., musí řídit. Pro řádné nastavení všech těchto funkcí, je potřeba určit zkratové poměry, a to jak v rozvodně, tak na jednotlivých vedeních. V 5. kapitole tedy najdeme výpočet minimálních a maximálních zkratových proudů, výkonů a reaktancí pro část rozvodny 22 kV. Pro ukázkou výpočtu zkratových poměrů na vedení jsem zvolil vedení VN25, které disponuje jednou odbočkou. Výpočet je složen z určení činného odporu vedení, reaktance vedení a následného výpočtu maximálního a minimálního zkratového proudu a maximálního času vypnutí s ohledem na oteplení vodičů při zkratu. Pro ukázkový výpočet jsem zvolil výpočet na prvním úseku vedení, kde je předpoklad nejvyšší hodnoty zkratového proudu a výpočet na konci vedení a konci odbočky, kde je naopak předpoklad nejmenší hodnoty zkratového proudu. Jak můžeme vidět v *Tab. 44* a *Tab. 45* tak se předpoklad potvrdil. Aby ale došlo k vyloučení možné chyby, byl výpočet vždy realizován pro každý úsek vedení. Tyto výpočty jsou následně využity v návrhu nastavení ochran.

Výsledkem práce je návrh nastavení elektrických ochran. Výpočet nastavení byl realizován pro každé vedení zvlášť. Pro ukázkový výpočet jsem opět zvolil vedení VN25 a pro nadproudovou ochranu byly vypočteny dva rozběhové proudy. První rozběhový proud vychází z dovoleného zatížení vedení, druhý pak z minimálního zkratového proudu. Časy vypnutí byly voleny podle praktických zkušeností. Větší pozornost vyžadovalo nastavení ochran pro vývody SŽDC. Toto nastavení vyžadovalo korekci kvůli zajištění selektivity působení. Dalším nastavovaným prvkem byla zemní směrová ochrana. Zemní směrová ochrana zde pracuje na wattmetrickém principu a její nastavení je jednotné na všech zemních směrových ochranách pracujících na tomto principu. Posledním nastavovaným prvkem je pak automatika opětného zapnutí. Časy beznapětových pauz jsou zde nastaveny na základě praktických dlouhodobých zkušeností. Jedna nebo dvě beznapětové pauzy pak odpovídají použitému typu vypínače. Stav zapnutí či vypnutí automatiky záleží na typu vedení.

## Literatura

- [1] HALUZÍK, CSc., Doc. Ing, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1985.
- [2] JANÍČEK, František, Vladimír CHLADNÝ, Anton BELÁŇ a Žaneta ELESCHOVÁ. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2004. ISBN 9788022721356.
- [3] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00630-9.
- [4] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [5] KREJČÍ, Petr. *Cvičení z elektroenergetiky*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0471-9.
- [6] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [7] ČSN EN 60909-0 ED. 2. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
- [8] SIEMENS. *SIPROTEC 5 Nadproudová ochrana 7SJ82/7SJ85: Příručka*. 2013.
- [9] BLOKŠA, Milan. *Indikace zemního spojení v sítích vn*. Konference ČK CIRED, 2005.
- [10] Podklady od firmy ČEZ Distribuce, a.s.

## **Seznam příloh**

1. Příloha I. - Schéma rozvodny R110/22 kV Valašské Meziříčí část 22 kV



